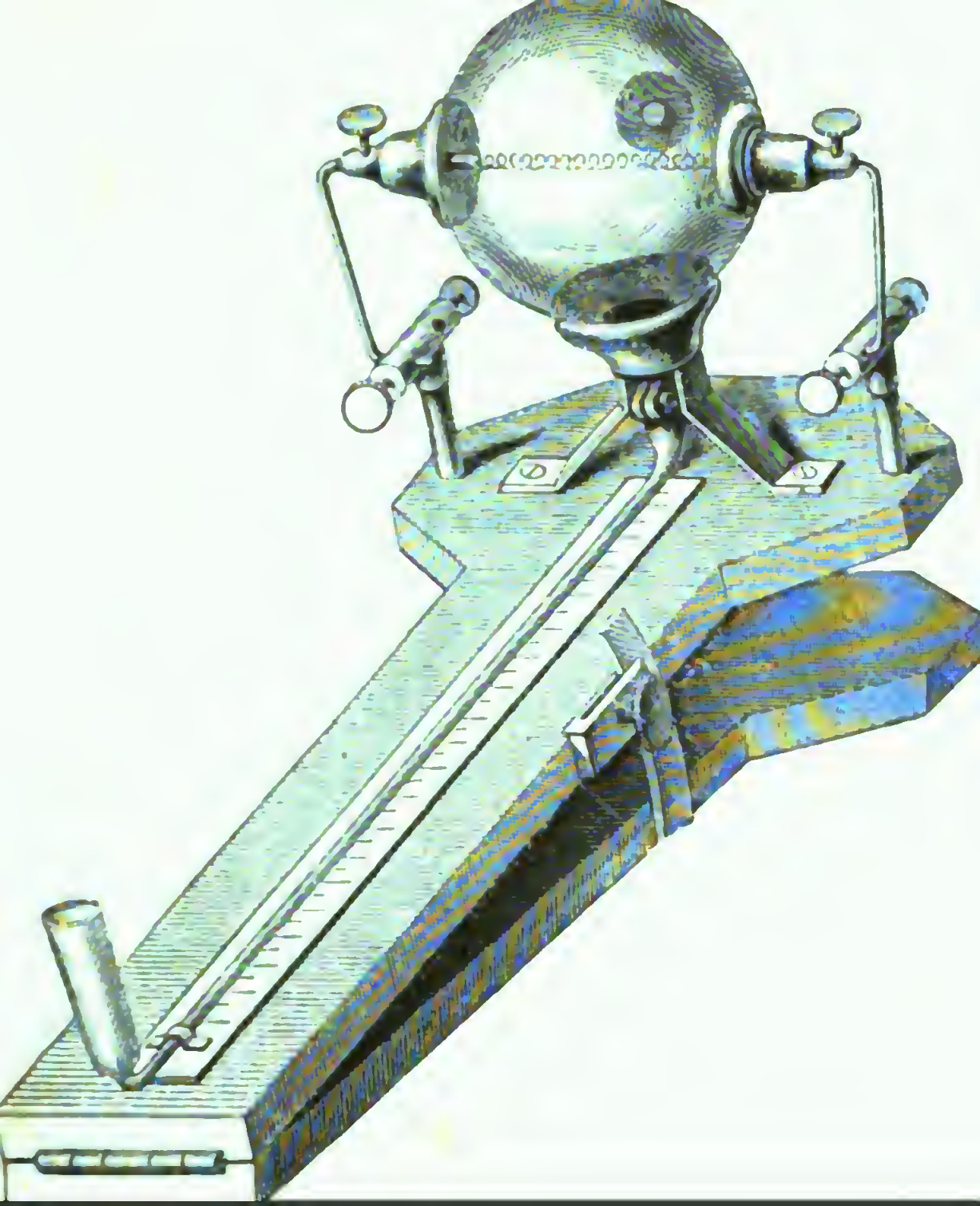
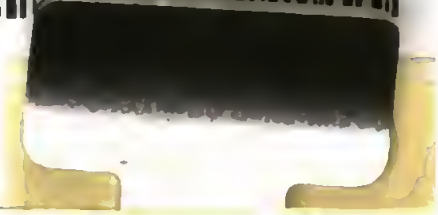


Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik

Johann Heinrich Jacob Müller, Burndy Library

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK GENT



Digitized by Google

Bericht

über die

neueſten Fortſchritte

der

Phyſik.

In

ihrem Zuſammenhange dargeſtellt

von

Dr. Joh. Müller,

Profeſſor der Phyſik und Technologie an der Univerſität zu Freiburg im Breisgau.

Mit 316 in den Text eingedruckten Holzſchnitten.

Erſter Band.

Braunſchweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1849 — 1852.

Phys. 171a

Ankündigung.

Je rascher die Fortschritte sind, welche in den Naturwissenschaften gemacht werden, je mehr Material durch das rastlose Streben der Naturforscher angehäuft wird, desto schwieriger wird es, dem Gange der Entdeckungen zu folgen und sich auf der Höhe der Wissenschaft zu erhalten.

Diese Behauptung, für alle Zweige der Naturwissenschaften wahr, findet auch im vollen Maaße ihre Anwendung auf die Physik. Je unentbehrlicher physikalische Kenntnisse einem Jeden sind, der irgend einen Zweig der Naturwissenschaften mit Erfolg zu cultiviren gedenkt, je mehr Bedeutung die Physik für das praktische Leben gewinnt und je mehr man die Nothwendigkeit eines gründlichen naturwissenschaftlichen Unterrichts für Schulen und Universitäten erkennt, um so nothwendiger ist es, daß die Fortschritte der Physik durch leichtfaßliche und doch gründliche Darstellung einem größeren Kreise zugänglich gemacht werden.

So ist denn eine geordnete, leicht verständliche und kritische Zusammenstellung der neueren Erforschungen der Physik ein dringendes Bedürfniß geworden und es ist die Aufgabe dieses Werkes, eine solche zu vermitteln.

Es wird für Jedermann, der sich mit Physik beschäftigt, sey es im Fachstudium, Selbststudium oder in angewandter Weise, von hoher Wichtigkeit werden. Es bietet die Ergänzungen zu jedem älteren Lehrbuche der Physik und giebt dem Chemiker, dem Mediciner, dem Pharmaceuten, dem Ingenieur, dem Techniker, dem Industriellen, dem Berg- und Hüttenmanne, jedem, dem die Physik eine unentbehrliche Hülfswissenschaft für sein Fach ist, das bisher nicht vorhandene Mittel, sich rasch und übersichtlich mit den Fortschritten der Physik in den letzten 10 Jahren, sey es für die Wissenschaft oder die Anwendung im praktischen Leben, vertraut zu machen.

Das Werk wird zwei Bände umfassen, von denen der erste die phhsikalischen Fortschritte auf dem unendlich wichtigen Gebiete der Elektricitätslehre in ihrer ganzen Ausdehnung enthält. Der zweite Band wird die Fortschritte auf dem Gebiete der Wärme, des Lichts, der Akustik und des mechanischen Theils der Physik umfassen.

Der erste Band ist vollständig erschienen; der zweite Band wird in 8—10 Lieferungen, jede zu 6 Bogen, ausgegeben. Der Preis des ersten Bandes, mit 346 in den Text eingedruckten Abbildungen, ist 5 Thlr.; Preis jeder Lieferung 12 Ggr.

Nach Vollendung des zweiten Bandes wird wohl so viel Material vorhanden seyn, um denselben Cyclus von Neuem zu beginnen, der dann aber einen kürzeren Zeitraum als 10 Jahre umfassen wird.

Braunschweig, Januar 1852.

Friedrich Vieweg und Sohn.
Eduard Vieweg.

Braunschweig. **PROSPECTUS.** *Januar* 1852.

Bericht
über die
neuesten Fortschritte der Physik.

In
ihrem Zusammenhange dargestellt
von

Dr. Joh. Müller,
Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

In zwei Bänden.
Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzschnitten.
gr. 8. Fein Velinpap. geh.
Erster Band complet. Preis 5 Thlr.

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

Je rascher die Fortschritte sind, welche in den Naturwissenschaften gemacht werden, je mehr Material durch das rastlose Streben der Naturforscher angehäuft wird, desto schwieriger wird es, dem Gange der Entdeckungen zu folgen und sich auf der Höhe der Wissenschaft zu erhalten.

Diese Behauptung, für alle Zweige der Naturwissenschaften wahr, findet auch im vollen Maaße ihre Anwendung auf die Physik. Je unentbehrlicher physikalische Kenntnisse einem Jeden sind, der irgend einen Zweig der Naturwissenschaften mit Erfolg zu cultiviren gedenkt, je mehr Bedeutung die Physik für das praktische Leben gewinnt und je mehr man die Nothwendigkeit eines gründlichen naturwissenschaftlichen Unterrichts für Schulen und Universitäten erkennt, um so nothwendiger ist es, daß die Fortschritte der Physik durch leichtfaßliche und doch gründliche Darstellung einem größern Kreise zugänglich gemacht werden.

Wer nicht das Studium der Physik zu seiner Lebensaufgabe gemacht hat, wer also nicht Physiker ex professo ist, der kann unmöglich durch Lesen der Originalabhandlungen einen klaren Ueberblick über den Stand und den Fortgang der physikalischen Forschungen erhalten; einmal ist an und für sich die Masse des Materials zu groß, dann aber ist ein erfolgreiches Quellenstudium dadurch sehr erschwert, daß die wenigsten Autoren sich einer klaren leichtfaßlichen Darstellung bestreben, und daß in unsern Journalen das für die Wissenschaft wirklich Bedeutsame häufig mit einem Wust mittelmäßiger und werthloser Arbeiten ohne Kritik zusammengestellt ist.

So ist denn eine geordnete, leicht verständliche und kritische Zusammenstellung der neueren Errungenschaften der Physik ein dringendes Bedürfniß geworden und ich will es versuchen, demselben, so weit es wenigstens in meinen Kräften steht, durch das hier angekündigte Werk zu entsprechen.

Für den vorgesetzten Zweck halte ich, wie ich dies schon früher in einer vorläufigen Ankündigung sagte, Jahresberichte nicht für zweckmäßig, weil Jahresberichte wohl geeignet sind, dem Leser recht schnell eine Uebersicht der neuesten Entdeckungen zu geben, aber nicht, um sie in ihrem Zusammenhange darzustellen. Die meisten Untersuchungen ziehen sich durch eine Reihe von Jahren hindurch, man kann nur dann hoffen, ein abgerundetes Ganzes zu

erhalten, wenn man mehrere Jahre zusammenfaßt; ich werde deshalb meinen Bericht auf das letzte Decennium ausdehnen, und wo es nöthig erscheint, selbst noch weiter zurückgreifen.

Es ist, wie ich schon andeutete, nicht meine Absicht, einem wissenschaftlichen Publicum schnell Nachricht von den neuesten Entdeckungen zu geben, sondern einem größern Kreise von Freunden der Naturkunde die neueren wichtigen Fortschritte der Physik zugänglich und verständlich zu machen: ich habe mir zur Aufgabe gestellt, gewissermaßen als Vermittler, oder als Dollmetscher zwischen dem gelehrten Forscher und dem Belehrung suchenden Publicum aufzutreten. Um diese Aufgabe wirklich zu lösen, genügt eine auszugsweise Zusammenstellung der neueren Arbeiten, genügt ein bloßes Andeuten und Citiren durchaus nicht. — Was für die Wissenschaft und das Leben einen bleibenden Werth hat, was wirklich eine Errungenschaft für die Physik genannt zu werden verdient, muß ausführlich und gründlich behandelt und noch zugleich möglichst leicht faßlich dargestellt seyn; dagegen darf Anderes, was von geringerer Bedeutung ist, es dürfen Arbeiten und Notizen, die ohne Zweifel doch in ein paar Jahren wieder in Vergessenheit gerathen werden, entweder ganz unbeachtet bleiben oder doch nur kurz berührt werden.

Dies die Gesichtspunkte, welche mich bei Abfassung dieses Werkes bisher leiteten und ferner leiten werden.

Das Werk wird zwei Bände umfassen, von denen der erste die physikalischen Fortschritte auf dem unendlich wichtigen Gebiete der Elektricitätslehre in ihrer ganzen Ausdehnung enthält. Der zweite Band wird die Fortschritte auf dem Gebiete der Wärme, des Lichts, der Akustik und des mechanischen Theils der Physik umfassen.

Nach Vollendung dieses zweiten Bandes wird wohl so viel Material vorhanden seyn, um denselben Cyclus von Neuem beginnen zu können, der sich aber alsdann wohl über einen kürzeren Zeitraum als 10 Jahre erstrecken wird.

Freiburg, im Januar 1852.

Dr. Joh. Müller.

Es ist dieses Werk für Jedermann, der sich mit Physik beschäftigt, sey es durch Fachstudium, Selbststudium oder in angewandter Weise, von hoher Wichtigkeit. Es bietet die Ergänzungen zu jedem älteren Lehrbuche der Physik und giebt dem Chemiker, dem Mediciner, dem Pharmaceuten, dem Ingenieur, dem Techniker, dem Industriellen, dem Berg- und Hüttermanne, jedem, dem die Physik eine unentbehrliche Hülfswissenschaft für sein Fach ist, das bisher nicht vorhandene Mittel, sich rasch und übersichtlich mit den Errungenschaften der Physik in den letzten 10 Jahren, sey es für die Wissenschaft oder die Anwendung im praktischen Leben, vertraut zu machen. Für die neuen Lehrbücher, namentlich das Müller-Pouillet'sche von demselben Verfasser, wird das Werk eine wünschenswerthe Ergänzung bilden, da mancher Gegenstand hier ausführlicher behandelt werden konnte, als es in einem theoretischen Lehrbuche der Physik möglich war.

Das Werk wird zwei Bände umfassen; der erste Band ist vollständig erschienen; der zweite Band wird in 8 — 10 Lieferungen, jede zu 6 Bogen, ausgegeben. Der Preis des ersten Bandes mit 346 in den Text eingedruckten Abbildungen, ist 5 Thlr.; Preis jeder Lieferung 12 Sgr.

Braunschweig, im Januar 1852.

Friedrich Vieweg und Sohn.
Eduard Vieweg.

Im Verlage von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig ist erschienen:

Der mechanische Theil der Naturlehre.

Von

H. C. Oersted.

Mit 248 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 2 Thlr.

Oersted's Schriften, die zum großen Theil einzelne Zweige der Naturkunde in allgemein verständlicher Sprache und in dem Tone eines ächten Weltweisen behandeln, sind in seinem Vaterlande erst jetzt gesammelt und erst in seinem späten Alter und nach seinem Tode in Deutschland bekannt und beliebt geworden.

Den Freunden seiner einfachen und doch tiefgehenden und ansprechenden Darstellungsweise, sowie allen denen, welche berufen sind, als Lehrer den anschaulichsten und anziehendsten Vortrag der Naturkunde zu suchen, oder welche als Lernende eine erörternde Betrachtung der dürren Entwickelung vorziehen, wird dieses Buch Nutzen und Freude gewähren. —

Es ist das erste systematische Werk Oersted's, das in Deutschland bekannt wird und das einzige, an dessen deutscher Bearbeitung er selbst den thätigsten Antheil genommen hat. —

Physikalische Technik

oder

Anleitung zur Anstellung von physikalischen Versuchen

und zur Herstellung von physikalischen Apparaten mit möglichst einfachen Mitteln.

Von Professor Dr. J. Frick, Vorstand der höheren Bürgerschule zu Freiburg im Breisgau und Lehrer der Physik am Lyceum daselbst. Ein Band von 28 Bogen mit 568 in den Text eingedr. Holzschnitten. gr. 8°. Fein Velinpap. geh. Preis 2 Thlr.

Bei dem allerwärts anerkannten Grundsatze, daß der Unterricht in den Naturwissenschaften überhaupt nur dann den gewünschten Erfolg haben könne, wenn derselbe auf Anschauung, auf das Experiment, gegründet wird, und bei der immer wachsenden Theilnahme, deren sich insbesondere die Naturlehre nicht nur auf Schulen, sondern im Leben überhaupt zu erfreuen hat, dürfte obiges Werk für die Freunde der Physik um so mehr eine willkommene Erscheinung sein, als in längerer Zeit keine ähnliche, die ganze Naturlehre umfassende Anleitung erschienen ist.

Der Verfasser hat sich dabei folgende Aufgabe gestellt:

1. Mit Umgehung aller theoretischen Erörterung — für welche er auf die neuen und besseren Lehrbücher der Physik, namentlich das Müller-Pouillet'sche, verweiset — Erläuterung der Versuche zu geben, welche beim Unterricht zur Bestätigung der erklärten Naturgesetze gemacht werden können, also keine Anleitung zu Versuchen, um die Wissenschaft der Physik als solche zu fördern; es sollen sogar solche Versuche umgangen werden, welche nur für einen sehr ins Einzelne gehenden höheren physikalischen Unterricht geeignet sind.

2. Die für den Unterricht erforderlichen Apparate in möglichst einfacher und zweckmäßiger Einrichtung zu beschreiben, und die Vorsichten anzugeben, welche das sichere Gelingen der einzelnen Versuche bedingen, auch andererseits die Anweisung zu geben, die meisten dieser Apparate mit möglichst geringen Kosten entweder selbst anzufertigen, oder unter Beihülfe guter Handwerker anfertigen zu lassen. Letzteres erforderte, daß auch eine Anweisung zur Vollführung solcher einzelnen Arbeiten gelegentlich eingeschaltet wurde, welche dem Experimentator überhaupt öfter vorkommen, oder für welche man namentlich in kleineren Orten nur selten Jemanden finden kann, wie z. B. für das Firnissen von Holz und Metall, das Bohren, Sprengen, Schleifen und Blasen des Glases u. dergl. Bei solchen Apparaten dagegen, deren Herstellung vollkommenere technische Hülfsmittel und größere Fertigkeit erfordert, die man daher besser fertig vom Mechanikus bezieht, wurden die Grundsätze entwickelt, welche bei der Anschaffung leiten können, und die Vorsichten in Behandlung derselben angegeben, damit sie möglichst lange in brauchbarem Zustande erhalten und allenfalsige Fehler verbessert werden können. Für manche Versuche sind mehrere verschieden vollkommene Apparate beschrieben, so daß man je nach den besonderen Zwecken und Mitteln die Auswahl treffen kann.

Im Verlage von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig ist erschienen:

Lehrbuch der
Ingenieur- und Maschinenmechanik.

Mit den nöthigen Hülfslehren aus der Analysis für den Unterricht an technischen Lehranstalten, sowie zum Gebrauche für Techniker bearbeitet von Julius Weisbach, Professor an der Königlich Sächsischen Bergakademie zu Freiberg. In drei Theilen. Mit gegen 2000 in den Text eingedruckten Holzschnitten. gr. 8. geh. Velinp. Erschienen ist: Band I., Preis $3^2/_3$ Thlr.; Band II., Preis 4 Thlr.; Band III., erste und zweite Lieferung. Preis jeder Lieferung $^1/_2$ Thlr.

Zweite verbesserte und vervollständigte Auflage.

Mathematik und Naturlehre sind die Fundamente der Technik, und Mechanik insbesondere ist die Basis der Architectur und des Maschinenwesens. Die Mechanik des Ingenieurs muß, um ihrem Zweck zu entsprechen, praktisch sein, d. h. sie muß sich auf zuverlässige und genaue Beobachtungs-, Versuchs- und Erfahrungs-Resultate gründen und vorzüglich nur solche Erscheinungen, Gesetze, Verhältnisse und Combinationen berücksichtigen, welche im praktischen Leben, im Bau- und Maschinenwesen ihre Anwendung finden. So hat der Verfasser sich seine Aufgabe gestellt und es ist seine Absicht, im vorliegenden Lehrbuche, Lehrern und Studirenden der Mechanik und des Ingenieurwesens einen Leitfaden beim Unterrichte, und den praktischen Ingenieurs und Architekten ein Handbuch zum Nachschlagen und Selbststudium in die Hände zu geben. Es ist zugleich den gebildeten Meistern der Maschinenbauwerkstätten und Baugewerke bestimmt. Das Lehrbuch umfaßt drei Bände, von denen der erste das Theoretische der Mechanik, der zweite die specielle Anwendung auf das Bau- und Maschinenwesen und der dritte die Zwischen- und Arbeitsmaschinen abhandelt. Gegen 2000 vortrefflich in Holzschnitt ausgeführte in den Text eingedruckte Abbildungen, werden viel zum leichteren Verständniß beitragen.

Der Ingenieur,

Sammlung
von Tafeln, Formeln und Regeln der Arithmetik, Geometrie und Mechanik.

Für praktische Geometer, Mechaniker, Baumeister und Techniker überhaupt
bearbeitet von
Julius Weisbach,
Professor an der Königl. Sächsischen Bergakademie zu Freiberg.

Zweite unveränderte Auflage.

Mit 282 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Taschenformat. Preis: geh. $1^1/_2$ Thlr., in engl. Linnen gebund. $1^3/_4$ Thlr.

Der »Ingenieur« soll ein Hülfsbuch oder Vademecum für praktische Geometer, Mechaniker und Techniker überhaupt sein; es soll derselbe dem Praktiker als Rathgeber und Gehülfe zugleich an die Hand geben und deshalb die brauchbarsten praktischen Regeln, Formeln und Tabellen der Arithmetik, Geometrie und Mechanik enthalten. Man erwarte in diesem Buche kein Lehrbuch mit Entwickelungen und Beweisen, man suche vielmehr in ihm nur ein Thatsachen und Ergebnisse enthaltendes kurzes Handbuch.

Die Haupterforderniße eines Werkes, welches dem Praktiker bloß als »Hand-« oder »Hülfs-«, nach Befinden Taschenbuch dienen soll, sind Leichtigkeit, Bequemlichkeit und Sicherheit im Gebrauch; diesen aber wird entsprochen durch eine gedrängte, möglichst geordnete Zusammenstellung von solchen sorgfältig ausgewählten Regeln, Formeln und Tabellen, welche auf den sichersten Theorien und Thatsachen der Erfahrung basirt sind und in dem Ingenieurwesen, der praktischen Geometrie, der Mechanik, dem Maschinenwesen, der Baukunst, Mühlenbaukunst und der Technik überhaupt ihre Anwendung finden

Ein solches Werk liefert der Herr Verfasser in seinem »Ingenieur«, welcher wieder im genauen Zusammenhange mit seinem Lehrbuche der Mechanik steht, d. h. dieses in den angegebenen Beziehungen ergänzt.

Der hohe Nutzen eines Werkes der Art, wenn es anders richtig aufgefaßt und durchgeführt ist, welches weder zu viel noch zu wenig, aber alles so klar und verständlich giebt, daß es im wahren Sinne des Worts den beständigen Rathgeber des Praktikers bildet und sein unzertrennlicher Begleiter wird, kann dem, sein Fach richtig überblickenden, Praktiker nicht zweifelhaft sein.

Bericht

über die

neueſten Fortſchritte

der

Phyſik.

Bericht

über die

neueſten Fortſchritte

der

Phyſik.

In

ihrem Zuſammenhange dargeſtellt

von

Dr. Joh. Müller,

Profeſſor der Phyſik und Technologie an der Univerſität zu Freiburg im Breisgau.

In zwei Bänden.

Erſter Band.

634

Mit 346 in den Text eingedruckten Holzſchnitten.

Braunſchweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1849 — 1852.

Vorrede.

Wenn ich mit einem Berichte über die neueren Fortſchritte der Phyſik auftrete, während unſere Literatur bereits mehrere Repertorien und Jahresberichte zählt, an welchen ſich Männer betheiligen, welche ſich der allgemeinſten Anerkennung erfreuen, ſo läßt ſich ein ſolches Unternehmen nur dadurch rechtfertigen, daß mein Bericht eine weſentlich andere Tendenz verfolgt als jene. In der That iſt es die Aufgabe jener Werke, dem Leſer in kurzer Ueberſicht alle die Arbeiten und Unterſuchungen vorzulegen, welche von Jahr zu Jahr auf dem fleißig bebauten Felde der phyſikaliſchen Forſchung geliefert werden, während mein Streben dahin geht, nicht allein darüber zu berichten, was in der neueren Zeit geliefert worden iſt, ſondern auch dieſe Fortſchritte durch eine entſprechende Darſtellung einem größeren Kreiſe von Freunden der Wiſſenſchaft zugänglich zu machen.

Um dieſen Zweck zu erreichen, mußte ich zunächſt den Plan aufgeben, von dem ich urſprünglich ausgegangen war, nämlich den Plan, einen phyſikaliſchen Jahresbericht auszuarbeiten. Nur dann iſt es möglich, die einzelnen Materien in gehöriger Abrundung darzuſtellen, wenn man ſich nicht auf die Arbeiten eines Jahres beſchränkt, ſondern wenn man die entſprechenden Unterſuchungen eines größeren Zeitraumes zuſammenſtellt. Ich dehnte dehalb meinen Bericht ungefähr über das letzte Decennium aus. Der vorliegende

Band beſpricht nur die Fortſchritte der Elektricitätslehre, welche ſich in der letzten Zeit ungleich größerer Erweiterungen zu erfreuen hatte, als die übrigen Zweige der Phyſik, die ich in ähnlicher Weiſe in einem folgenden Bande zu behandeln gedenke. Bis zur Vollendung dieſes zweiten Bandes iſt dann ohne Zweifel wieder Material genug vorhanden, um den Cyclus von neuem beginnen zu können, wenn es mir im Uebrigen die Umſtände vergönnen.

Es ſind mehrere Jahre über der Ausarbeitung des vorliegenden erſten Bandes dahingegangen, die einzelnen Kapitel deſſelben ſind alſo keineswegs gleichzeitig, ſie ſtellen nicht den gleichzeitigen Zuſtand der entſprechenden Theile der Elektricitätslehre dar. Ich habe es nicht für zweckmäßig gehalten, dies durch Nachträge zu den früheren Kapiteln auszugleichen, zum Theil, weil dadurch die Vollendung dieſes ohnehin ſchon voluminöſen Bandes abermals eine nicht unbedeutende Verzögerung erlitten haben würde; dann aber auch deshalb, weil ſolche Nachträge zu ſehr den aphoriſtiſchen Charakter tragen würden, welchen ich bis dahin gerade zu vermeiden ſuchte. Es ſchien mir zweckmäßiger, die Beſprechung der meiſten Forſchungen, welche mir erſt nach dem Drucke der entſprechenden Kapitel dieſes Buches bekannt werden für den nächſten Bericht über die Fortſchritte der Elektricitätslehre aufzuſparen.

Die wenigen Nachträge, welche ſich am Schluſſe dieſes Bandes befinden, berichten nur über Gegenſtände, welche zur Zeit, in welcher die entſprechenden Kapitel abgefaßt wurden, ſchon publicirt waren, welche aber gehörigen Orts zu beſprechen überſehen worden waren.

Was die Form betrifft, ſo habe ich die phyſikaliſchen Errungenſchaften des bezeichneten Zeitraums ungefähr in ſolcher Weiſe zu entwickeln und darzuſtellen geſucht, als ob ich ſie für die entſprechenden Kapitel eines mehr als gewöhnlich ausführlichen, aber deſſen ungeachtet elementar gehaltenen Lehrbuchs der Phyſik zu bearbeiten gehabt hätte.

Daraus ergiebt ſich nun auch, daß mein Bericht unmöglich auf diejenige Vollſtändigkeit Anſpruch machen kann, welche für die übrigen Repertorien und Jahresberichte weſentliche Aufgabe iſt. Dieſe haben in gedrängter Kürze eine möglichſt vollſtändige Ueber-

ſicht aller entſprechenden Arbeiten zu geben, während ich mit größerer Ausführlichkeit, aber nur das Wichtigere beſprechen muß.

Hiermit will ich nun nicht geſagt haben, daß ich Alles Wichtigere wirklich beſprochen habe, daß Alles, worüber ich ſchweige, damit als wiſſenſchaftlich werthlos bezeichnet ſein ſoll. — Fern ſey mir eine ſolche Anmaßung. — Wohl mag es ſein, daß mir bei den geringen literariſchen Hülfsmitteln, welche unſere Anſtalt bietet, bei meiner Entfernung von naturwiſſenſchaftlichen Centralpunkten Manches, namentlich von ausländiſchen Arbeiten unbekannt blieb, was der Erwähnung werth geweſen wäre, wohl mag es auch ſein, daß ich von deutſchen Unterſuchungen ſchweige, welche den Keim zu bedeutenden Forſchungen in ſich tragen, weil ſie mir bei dem gegenwärtigen Zuſtand ihrer Entwickelung noch nicht recht zur Beſprechung an dieſer Stelle gereift oder geeignet erſchienen. Für meine Zwecke erwächſt jedoch daraus um ſo weniger ein weſentlicher Nachtheil, als dieſe in der Folge zu entſchiedener phyſikaliſcher Bedeutung ſich entwickelnden Anfänge gerade in einem ſpäteren Berichte die paſſendſte Stellung finden werden.

Es iſt in Deutſchland wenigſtens allgemein anerkannt, daß die Lehre vom Galvanismus erſt durch das Ohmiſche Geſetz eine feſtere Baſis erlangt hat und daß nur mit Hülfe deſſelben eine präciſere Methode in die galvaniſchen Forſchungen eingeführt werden konnte. Erſt dann aber wird die Wiſſenſchaft den vollen Gewinn aus dieſem Geſetz zu ziehen im Stande ſeyn, wenn allgemein beſtimmte Einheiten für Stromſtärke, Leitungswiderſtand und elektromotoriſche Kraft in Anwendung gebracht werden; erſt wenn die numeriſche Beſtimmung der Conſtanten galvaniſcher Elektromotoren allgemein an die Stelle der jetzt noch üblichen vagen Angaben*)

*) Wie nothwendig es iſt, daß in dieſer Beziehung endlich klarere Vorſtellungen verbreitet werden, zeigen uns recht auffallend die »Elemente der Elektrometallurgie von Alfred Smee,« von deren dritter Auflage kürzlich eine deutſche Ueberſetzung erſchienen iſt (Leipzig, bei Ambr. Abel). Auf das Ohmiſche Geſetz hält Smee nicht viel, er ſagt: »In dieſer Formel »fehlen die Quantität und die Intenſität und ſie paßt einzig auf die Con»tacttheorie keineswegs auf die chemiſche Theorie der Säule, welche man »jetzt allgemein in England angenommen hat.« Man kann ſich denken, in welchem Chaos ſich Smee bei Vergleichung verſchiedener galvaniſcher Combinationen und

getreten seyn wird, so daß man mit Bestimmtheit den Effect berechnen kann, den eine gegebene galvanische Combination unter bestimmten Verhältnissen geben kann und muß, wird auch die Technik mit größerer Sicherheit galvanische Ströme in Anwendung zu bringen im Stande sein. Ich habe deshalb auf diesen Punkt vorzugsweise meine Aufmerksamkeit gerichtet und habe die Anwendung der Jakobi'schen Einheiten, welche mir für den allgemeinen Gebrauch die passendsten schienen, in einer Ausdehnung durchzuführen versucht, wie es bisher noch nicht geschehen ist.

Seit das erste Heft dieses Berichtes erschienen ist, sind bereits drei Jahre verflossen. Bei dem besten Willen war es mir nicht möglich, neben meinen andern Berufsgeschäften das Erscheinen dieses Werkes rascher zu fördern. Um noch größere Verzögerung zu verhindern, sah ich mich nach fremder Hülfe um. Herr Professor Frick übernahm es, die praktischen Anwendungen der Elektrolyse, die Thermoelektricität und das elektrische Chronoscop zu bearbeiten. Das Kapitel über die elektrische Telegraphie rührt von Herrn Professor Schellen her. Ich fühle mich diesen Herren für die mir geleistete Unterstützung sehr zu Dank verpflichtet.

Freiburg im December 1851.

J. Müller.

---

ihrer Wirkungen verlieren muß, da er die einzig sichere Grundlage einer solchen Vergleichung von der Hand wieß. Folgendes Beispiel mag genügen, um den Standpunkt zu charakterisiren, welchen Smee in dieser Beziehung einnimmt. Er sagt: (Seite 42 der Uebersetzung) »Vielleicht kann ich annähernd das Verhältniß der Kosten angeben, welche die drei Batterieen in »ihrer Wirksamkeit nöthig machen. In meiner stellen sich die Kosten = »Zink + Säure + locale Wirkung. In der constanten Batterie sind sie »= Zink + Säure + schwefelsaures Kupfer + viel locale Wirkung Jede »Zelle derselben würde um eine gewisse Wirkung zu thun etwa zweimal so »viel kosten als die meinige. In der Grove'schen Batterie haben wir die »Kosten = Zink + Säure + Salpetersäure die durch den Wasserstoff zerstört wird + Salpetersäure, welche sich mit dem Ammoniak verbindet, das »bei der Thätigkeit der Batterie gebildet wird + übermäßigen Verbrauch »von Zink, = wenigstens dreimal so groß, als die welche die meinige erfordert.« [?]

Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

A.

	Seite
Abbildungen, elektrische	181
Ablenkung der Magnetnadel durch Reibungselektricität	161
» freiwillige, astatischer Nadeln	782
» astatischer Nadeln durch den Multiplicatordraht	784
Abria, mechanische Wirkungen des Entladungsschlages	88
Abstoßung an der inneren Belegung der Batterie	91
Aetzen, durch Galvanismus	466
Agometer	299
Alexander, Wasserzersetzung durch die Thermosäule	848
Andriessen, Elektroskop	20
Anhäufung von Flüssigkeiten am negativen Pol	433
Anker, Einfluß derselben auf die Tragkraft der Magnete	488
Armstrong, Elektricitätserregung durch Wasserdampf	5
» Elektrolyse durch Hydroelektricität	11
Astatische Nadeln, freiwillige Ablenkung derselben	782
Atmosphärische Elektricität, Apparat zur Beobachtung derselben	30

B.

Bagration, galvanische Kette	279
Bakewell, elektrochemischer Telegraph	609
Bain, Nadeltelegraph	569
Bäusche	790
Beleuchtung, galvanische	418
Becquerel, Theorie der Zitterfische	779
» Einfluß der Temperatur auf den Leitungswiderstand der Metalle	309
» Leitungswiderstand der Flüssigkeiten	321
» Untersuchungen über Elektrolyse	439
Berichtigungsstab	787
Bertin, Untersuchungen über magnetische Circularpolarisation	720
Bilder, elektrolytische	184
Bindung, elektrische	33
Blitzableiter, für Telegraphen	621
Blitzplatten	623
Botto, Wasserzersetzung durch die Thermosäule	848
Buff, Untersuchungen über galvanische Polarisation	333
» Bestimmung des Leitungswiderstandes der Metalle	305

Seite

Büschel, elektrische 193
» in verschiedenen Gasen 195
» in dichteren Mitteln 196
» Verschiedenheit bei positiver und negativer Entladung . . . 196
Bunsen'sche Kette 285

C.

Casselmann, Leuchtkraft des galvanischen Flammenbogens 409
Callan, Zink-Bleikette 287
Chemische Wirkungen des Stromes 425
Chronoskop, elektrisches 854
Collodium 222
Combination, zweckmäßigste, Volta'scher Elemente 288
Condensator, Theorie desselben 71
Constanten, die, der Volta'schen Kette 240
» indirecte Bestimmungen derselben 265

D.

Daniell'sche Kette 282
Daniell, Untersuchungen über Elektrolyse 425
Dal Negro, elektromagnetische Kraftmaschine 539
Dauer momentaner Ströme 650
De La Rive, über den galvanischen Flammenbogen 416
» » » über galvanische Töne 634
Dellmann, Elektroskop 26
Despretz, Wärmeentwickelung durch den galvanischen Flammenbogen . 414
Diamagnetismus 714
» Theorie desselben 736
» der Flamme 742
» der Gase 745
Diamagnetische Körper 730
Differential-Widerstandsmesser 301
Donné und Foucault photo-elektrisches Mikroskop 420
Dove, Ladungsstrom 167
» Untersuchungen über inducirte Ströme 688
Drehung, elektromagnetische, der Polarisationsebene 714
Drehwage 22
Drucktelegraphen 590
Dub, Einfluß der Anker auf die Tragkraft der Elektromagnete . . . 489
Du Bois-Raymond, Untersuchungen über thierische Elektricität . . . 768
» » » Versuche über den Muskelstrom 801
» » » Versuche über den Nervenstrom 828
» » » Multiplicator desselben 781
Dynamometer, galvanisches 652

E.

Edlund, Versuche über den Extrastrom 696
Einheit der Stromstärke 240
Eisen, Passivität desselben 360
Eisenrohr, Inductionsspirale für Reibungselektricität 144
Eiweißhäutchen 791
Elektricität des Maschinenpapiers 1
» verschiedene, des Glases 3

Seite

Elektricitätserregung durch ausströmenden Wasserdampf 5
» durch ausströmende flüssige Kohlensäure . . . 10
» durch Vegetation 16
Elektrische Ströme, Classification derselben 699
Elektrisirmaschine 16
Elektrolyse durch Hydroelektricität 11
» Daniell's Untersuchungen über 425
» Becquerel's Untersuchungen über 439
» organischer Körper 445
» polybasischer Salze 434
Elektrodynamik 649
» Zusammenhang ihrer Gesetze mit denen der Elektrostatik 664
Elektromagnete, Tragkraft derselben 485
» Tragkraft bei zunehmender Entfernung des Ankers . 487
Elektromagnetische Apparate 684
Elektromagnetische Triebkraft 538
» » Kosten derselben 547
Elektromagnetismus, Gesetze desselben nach Lenz und Jakobi . . . 482
» » » » Müller 494
Elektromotorische Kraft 260
Elektrophor von Gutta-Percha 221
Elektroskop 20
» nach dem Princip der Drehwage 26
Elektrotonischer Zustand der Nerven 831
Entladung 98
» dunkle 199
» fortführende 200
Erwärmung im Schließungsbogen der Batterie 102
Erwärmungsvermögen der Metalle 130
Extrastrom, Einfluß der Eisendrahtbündel auf denselben 686
» für Reibungselektricität 694

F.

Faraday, Gesetze der Elektricitätsentwickelung durch Wasserdampf . . 7
» Untersuchungen über Funken und Lichtbüschel 186
» Untersuchungen über gebundene Elektricität 55
» Vertheilung in krummen Linien 62
» Theorie der Vertheilung 64
» Induction durch Erdmagnetismus 708
» elektromagnetische Drehung der Polarisationsebne 714
Farbenringe, galvanische 467
Fechner, elektrische Vertheilung und Bindung 35
» Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen 789
Figuren, elektrische 111
Fizeau und Foucault, Lichtstärke des galvanischen Flammenbogens . . 411
Flammen, elektrische Wirkungen derselben 80
Flammenbogen, galvanischer, Leuchtkraft desselben 409
Flüssigkeiten, Verhalten derselben gegen starke Magnetpole 747
Froschschenkel, stromprüfender 793
Froschstrom 776
» elektromagnetische Wirkungen desselben 776
Frick, über die Elias'sche Magnetisirungsmethode 479
Funken, galvanische 422
» elektrische, in verschiedenen Gasen 192
Funkenmikrometer 94

G.

	Seite
Galvanische Polarisation	315
» » Abhängigkeit derselben von der Stromstärke	326
» » numerische Bestimmung derselben	328
» » an platinirten Platinplatten	331
» » Verminderung derselben durch Erwärmung der Flüssigkeit	335
» » Ursache derselben	336
Galvanisches Licht, Benutzung desselben zur Beleuchtung	415
Galvanoplastik	448
Garnier, galvanische Kette	279
Gasbatterie	345
» Theorie derselben	347
Gaffiot, galvanischer Funken	422
» Wasserbatterie	422
Gauß und Weber, Nadeltelegraph	562
Gebundene Elektricität, Knochenhauer's Gesetz	45
» » verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung	50
» » Faraday's Untersuchungen	55
Gegenstrom	694
Geruch, elektrischer	212
Geschwindigkeit der Elektricität	861
Glimmentladung	198
Glühen von Metalldrähten durch den Entladungsschlag	133
» durch den galvanischen Strom	384
» galvanisches, in verschiedenen Gasen	397
Grove'sche Kette	283
Grove, Gasbatterie	345
» galvanisches Glühen in verschiedenen Gasen	395
» Einwirkung des glühenden Platindrahtes auf verschiedene Gase	397
» Zerlegung des Wasserdampfes	400
Grüel, Elektrisirmaschine	221
Gutta-Percha, Elektricität desselben	2

H.

Häcker, Tragkraft der Stahlmagnete	473
» Schwingungsdauer von Magnetstäben	476
Hankel, elektrisches Papier	1
» Einfluß der Temperatur auf den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten	324
» Magnetisirung von Stahlnadeln durch den Entladungsschlag	167
» Theorie des Diamagnetismus	741
Hauchfiguren, elektrische	179
Hauchbilder, elektrische	182
Heinß, verschiedene Elektricität des Glases	3
Henrici, über thermoelektrische Ströme	849
Henry's Untersuchungen über Induction	702
Horsford, Leitungswiderstand der Flüssigkeiten	319
Hydroelektricität, Gesetze derselben	7
Hydroelektrisirmaschine	10
Hyperoxydketten	343
Hipp, elektrisches Chronoskop	859

J.

	Seite
Jakobi, Einheit der Stromstärke	240
» Bestimmung der Constanten Volta'scher Ketten	266
» elektromagnetische Kraftmaschinen	539
Induction	704
» Theorie derselben	670
» durch Erdmagnetismus	708
Inductionsinclinatorium	710
Inductionsströme höherer Ordnung	706
Influenzelektricität	71
Jotty, Elektricitätserregung durch ausströmende Kohlensäure	10
Joule, galvanische Wärmeerregung	375
Joule und Scoresby, Theorie der elektromagnetischen Motoren	555
Iso-elektrische Kurven	813

K.

Karsten, elektrische Abbildungen	181
Knochenhauer, Gesetze der gebundenen Elektricität	45
» elektrische Vertheilung und Bindung	35
» Arbeiten über den Nebenstrom	162
Kohlrausch, Elektroskop	29
» elektromotorische Kraft Volta'scher Ketten ist der Spannung der offnen Kette proportional	262
Kolbe, Oxydation durch den am positiven Pol ausgeschiedenen Sauerstoff	442
» Elektrolyse organischer Körper	445
Kopylusky, galvanische Kette	279
Kraftmaschine, elektromagnetische	538
» Construction derselben	548
» Theorie derselben	552
Kramer, Abnahme der Tragkraft der Elektromagnete bei wachsender Entfernung der Pole	487

L.

Ladungsstrom der elektrischen Batterie	166
Leitung für elektrische Telegraphen	612
Leitungswiderstand der Metalle	305
» Abhängigkeit desselben von der Wärme	308
» des menschlichen Körpers	311
» der Flüssigkeiten	317
» Einfluß der Temperatur auf denselben	324
Lenz, Einfluß der Temperatur auf den Leitungswiderstand der Metalle	308
» Gesetze der galvanischen Wärmeentwickelung	376
Lenz und Jakobi, Gesetze des Elektromagnetismus	482
Lichtbogen, Volta'scher	408
» Einwirkung des Magnetismus auf denselben	415
Lichterscheinung am Inductionsapparat	424
Linari und Palmieri, Induction durch den Erdmagnetismus	709
Logeman und Wetteren, Stahlmagnete	475
Luftelektricität, Quelle derselben unbekannt	13
Luftthermometer, elektrisches	113
» Theorie desselben	116

M.

Maaß für die Ladung der Batterie	89

Seite
Maaßbestimmungen, elektrodynamische 650
Magnetisirung durch den Entladungsschlag 145
» durch den Nebenstrom 146
» von Stahlstäben 479
Magnetischer Zustand aller Körper 729
Magneto-elektrischer Rotationsapparat 676
Matteucci, Untersuchungen über thierische Elektricität 777
Masson, Untersuchungen über elektrische Photometrie 204
Maximum, absolutes magnetisches 497, 511
Mechanische Wirkungen des Entladungsschlages 88
Meilont, Anwendung des Berichtigungsstabes 787
Mikroskop, photoelektrisches 420
Moment, magnetisches, eines Kreisstromes 649
Momentane Ströme, Dauer derselben 676
Morse's Drucktelegraph 592
Multiplicator für thierisch-elektrische Versuche 781
Munk af Rosenschöld, über Vertheilung und Bindung 69
Munke, Anfertigung der Thermosäulen 847
Müller, über die Tragkraft der Elektromagnete 527
» Versuche über galvanisches Glühen 384
» über gebundene Elektricität 47
» Gesetze des Elektromagnetismus 497
Müller (aus Halle), Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten von der Temperatur 310
Muskelstrom 801

N.

Nadeltelegraph, von Gauß und Weber 562
» englischer 563
Nebenstrom 142
» Abnahme desselben bei wachsender Entfernung von der Hauptspirale 150
» Einfluß benachbarter Leiter auf denselben 150
» Richtung desselben 159
Neef, Lichterscheinung am Inductionsapparat 414
Nervenstrom 828
Niederschläge an den Scheidewänden 431
Nobili, Farbenringe 467
» Versuche über den Froschstrom 777
» Erklärung der freiwilligen Ablenkung astatischer Nadeln . . . 782
» thermo-elektrische Säulen 845

O.

Oersted, Elektroskop 28
Oxydation durch den am positiven Pole ausgeschiedenen Sauerstoff . . 442
Ozon 213

P.

Page, galvanische Töne 633
Papier, elektrisches 1
Passivität des Eisens 360
» anderer Metalle 383
» Theorie derselben 380
Petrina, elektrische Wirkungen der Flamme 87

Seite

Petrina, Elektroskop 30
» elektrische Vertheilung und Bindung 36
» magneto-elektrische Rotationsmaschine 676
Phosphor, Leuchten desselben durch Ozon 219
Physiologisches Rheoskop 793
Plücker, Diamagnetismus der Gase und Flammen 742
» Verhalten der Flüssigkeiten gegen starke Magnetpole 747
Poggendorff, elektromagnetische Rotation des Quecksilbers 644
» Bestimmung der elektromotorischen Kraft in constanten Ketten 272
» Wippe 351
» thermoelektrische Ketten 847
Polarisation, galvanische 312
» Ursache derselben 336
» numerische Bestimmung derselben 328
» flüssiger Körper 341
Polarisationsebne, elektromagnetische Drehung derselben 714
Pouillet, Einheit der Stromstärke 240
» elektrisches Chronoskop 858
» Leitungswiderstand des menschlichen Körpers 312
Ptschelnikoff, Leitungswiderstand des menschlichen Körpers 311
Pyroelektricität 852

R.

Rees, van, elektrische Eigenschaften der Flamme 85
» » Vertheilung des freien Magnetismus in Stahlmagneten. . 519
Reich, durch Verdunstung keine Elektricität erzeugt 14
» diamagnetische Versuche 736
Reß, elektrische Eigenschaften der Flamme 80
» Schlagweite der elektrischen Batterie 94
» Maaß für die Ladung der Batterie 89
» Erwärmung durch den Entladungsschlag 102
» elektrisches Luftthermometer 113
» Glühen u. Schmelzen von Metalldrähten durch d. Entladungsschlag 133
» Versuche über den Nebenstrom 142
» elektrische Zeichnungen 175
» elektrische Staubfiguren 175
» elektrische Staubbilder 178
» elektrische Hauchfiguren 179
» elektrische Hauchbilder 182
» elektrolytische Bilder 184
» Verbesserungen an der Drehwage 22
» elektrische Vertheilung 34
» Influenzelektricität 71
» Theorie des Condensators 71
Rheoskop, physiologisches 793
Rheostat 299
Roberts galvanisches Felsensprengen 405
Romershausen, Elektroskop 27
» Apparat zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität 30
Rotation, elektromagnetische, des Quecksilbers 644

S.

Schlagweite der elektrischen Batterie 94
» ungleiche bei positiver und negativer Ladung 190

	Seite
Schönbein, elektrisches Papier	1
» Ursache der galvanischen Polarisation	336
» Theorie der galvanischen Polarisation	341
» Passivität des Eisens	360
» chemische Theorie des Galvanismus	230
» elektrischer Geruch	212
Schlitzsäule	846
Schmelzen, von Metalldrähten durch den Entladungsschlag	133
Schraubklemmen	254
Schröder, Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen	789
Schwingungsdauer von Magnetstäben	476
Secundäre Zuckung	822
Selen, elektrischer Isolator	5
Siemens und Halske, Zeigertelegraph	579
Sinsteden, Spannungserscheinungen an Inductionsspiralen	700
Smee'sche Kette	280
Spannungserscheinungen an Inductionsspiralen	700
Specifisches Leitungsvermögen der Metalle	306
Sprengen der Felsen durch Galvanismus	404
Staubfiguren, elektrische	175
Staubbilder, elektrische	178
Steinheil, Telegraph	563
» Erdleitung	563
Stöhrer, magnetoelektrischer Rotationsapparat	676
» Doppelstiftapparat	606
Strahlensäule	845
Stromeinheiten, Vergleichung derselben	243
Stromstärke, Einheiten derselben	240
» Bestimmungen derselben nach chemischem Maaß	247
Strömungskurven	813

T.

Telegraphie, elektrische	557
Telegraph, elektro chemischer	609
Tetanisiren	819
Thermoelektricität	845
Thermosäule, Wirkungen derselben	847
Thierische Elektricität	768
» » Geschichte derselben	769
Töne, galvanische	633
Tragkraft der Stahlmagnete	473
» der Elektromagnete	527
Triebkraft, elektromagnetische	538

U.

Ueberführung der Basen	437
Unipolare Induction	865
Unipolare Inductionszuckungen	800
Uhren, galvanische	625

V.

Vergleichung, verschiedener galvanischer Ketten	298
Vergoldung und Versilberung, galvanische	456
Vertheilung der Elektricität	33

Seite
Vertheilung in krummen Linien 62
» des freien Magnetismus in Stahlmagneten 519
Vertheilungsvermögen, elektriſches 56
Vorſſelman de Heer, über elektromagnetiſche Triebkraft 538
» » » Verminderung der galvaniſchen Polariſation durch Erwärmung der Flüſſigkeiten 335
» » » Wärmeentwickelung durch den Entladungsſchlag . 132

W.

Watkins Magnetiſirung und Funken durch die Thermoſäule 848
Waſſerbatterie 422
Waſſerdampf, Elektricitätsentwickelung durch Ausſtrömen deſſelben . . 5
Wärmeentwickelung durch den Entladungsſchlag 102
» durch den Nebenſtrom 146
» durch den galvaniſchen Strom 375
» durch den Flammenbogen 413
Wagner, elektromagnetiſche Kraftmaſchine 543
Weber, Theorie des Diamagnetismus 736
» Inductionsinclinatorium 710
» Zuſammenhang des elektrodynamiſchen und des elektroſtatiſchen Grundgeſetzes 664
» Theorie der Induction 670
» Beſtimmung der Dauer momentaner Ströme 650
» elektrodynamiſche Maaßbeſtimmungen 650
» Einheit der Stromſtärke 240
» Unipolare Induction 865
Becker, elektromagnetiſcher 607
Weekes, galvaniſche Kette 280
Wertheim, galvaniſche Töne 638
Wheatſtone, Beſtimmung der Conſtanten Volta'ſchen Ketten 267
» Differentialwiderſtandsmeſſer 301
» elektriſches Chronoſkop 854
» Nadeltelegraph 563
Widerſtand, Volta'ſcher Elemente 252
Winter, Elektriſirmaſchine 17
Wippe 351
Wollaſton'ſche Kette 276

Z.

Zeigertelegraph 573
Zeichnungen, elektriſche 175
Zink-Eiſenkette 286
Zink-Bleikette 287
Zuckungen, Geſetz derſelben 794
» ſecundäre 822
» höherer Ordnung 824
Zuleitungsgefäße 789

Reibungselektricität.

Erſter Abſchnitt.

Elektriſches Verhalten verſchiedener Körper, Elektriſirmaſchinen und Elektrometer.

Elektricität des Maſchinenpapieres. Daß Papier durch Reiben 1
elektriſch gemacht werden kann, iſt längſt bekannt; auch die Elektricitäts-
erregung bei der Fabrikation des Maſchinenpapiers iſt keine neue Erſchei-
nung, und es mag wohl wenig Beſitzer von Papierfabriken geben, die ſie
nicht beobachtet hätten, jedoch wird dieſe Erſcheinung zum erſten Male
von Hankel (P. A. LV, 477) beſchrieben.

An einer jeden Papiermaſchine zeigt ſich das Papier, nachdem es die
letzten Preßwalzen verlaſſen hat, ſtark negativ elektriſch. Nähert man
dem Papierbande zwiſchen den Satinirwalzen und dem Haspel, auf
welchem es aufgewunden wird, den Finger, ſo fährt aus demſelben ein
Strahlenbüſchel gegen das Papier hin; eine Leidener Flaſche läßt ſich leicht
laden. Auch das auf den Haspel aufgewundene Papier zeigt ſich elektriſch,
namentlich wenn ſchon viel Papier auf den Haspel aufgewunden iſt. Wird
das Papier von dem Haspel abgeſchnitten, und ſchlägt man die langen
Papierbänder auseinander, ſo fahren ſehr ſtarke blitzende Funken dazwi-
ſchen hin.

Es entſteht dieſe Elektricität offenbar nur durch die Erwärmung des
Papiers und des Zuſammenpreſſens deſſelben mittelſt Walzen. Eine
(gleitende) Reibung kann nicht ſtattfinden, weil die Umfangsgeſchwindigkeit
ſämmtlicher Walzen genau gleich iſt.

Schönbein's elektriſches Papier. Durch ein der Bereitung der 2
Schießbaumwolle ähnliches Verfahren iſt es Herrn Schönbein gelun-
gen, das Papier in eine vollkommen durchſichtige Subſtanz zu verwan-
deln, welche durch das geringſte Reiben ſchon außerordentlich ſtark elektriſch
wird (P. A. LXVIII, 159) und welches er zur Conſtruction einer Elektri-
ſirmaſchine anwendete.

Eine ſolche Subſtanz muß dem experimentirenden Phyſiker im höchſten Grade willkommen ſeyn; um ſo mehr iſt es zu bedauern, daß die Herren Schönbein und Böttger bisher noch nichts weiter publicirt haben, obgleich in Berlin elektriſches Papier zum Verkauf ausgeboten wird. — In ſehr vielen Fällen läßt ſich das elektriſche Papier durch dünne Blätter von Gutta-Percha erſetzen.

3 **Elektricität der Gutta-Percha.** Gutta-Percha iſt ein ſo guter Iſolator und wird durch Reiben ſo ſtark elektriſch, daß dieſe Eigenſchaften des jetzt ſo vielfach angewandten Stoffes nicht lange verborgen bleiben konnten. Schon gegen Ende des letzten Winters machte mich Dr. Hafenclever aus Aachen in dieſer Beziehung auf die Gutta-Percha aufmerkſam, und ich hatte ſie ſchon zur Conſtruction eines Elektrophors benutzt, als ich im Märzheft des philosoph. Magazine einen Aufſatz von Faraday über dieſen Gegenſtand fand, von dem im Maiheft von Poggendorff's Annalen eine Ueberſetzung erſchien (P. A. LXXIV, 154). Faraday ſagt über die elektriſchen und iſolirenden Eigenſchaften der Gutta-Percha im Weſentlichen Folgendes.

Ein gutes Stück Gutta-Percha iſolirt ebenſo vollkommen, wie ein gleiches Stück Schellack, es mag die Form einer Tafel, eines Stabes oder eines Fadens beſitzen; allein da ſie zäh und biegſam in der Kälte und weich in der Wärme iſt, ſo thut ſie in vielen Fällen beſſere Dienſte als der ſpröde Schellack. In Form von Streifen und Schnüren bildet ſie ein vortrefflich iſolirendes Aufhängemittel, und in Form von Platten liefert ſie die zweckmäßigſten iſolirenden Unterlagen.

Durch Reiben wird die Gutta-Percha ſtark negativ elektriſch. Einige Gutta-Percha wird in ſehr dünnen Tafeln, kaum dicker als ein Papierblatt, verkauft; wenn ein Streifen von dieſer zwiſchen den Fingern hindurchgezogen wird, ſo iſt ſie ſo elektriſch, daß ſie an der Hand haftet und Papierſtückchen anzieht.

Eine Tafel Gutta-Percha liefert ein vortreffliches Elektrophor.

Nicht alle Gutta-Percha iſt ein ſo guter Iſolator. Wenn ein gut iſolirendes Stück durchgeſchnitten wird, ſo hat die Schnittfläche einen Harzglanz und eine compacte Beſchaffenheit, während ſie bei einem ſchlecht iſolirenden Stück nicht denſelben Grad von Glanz beſitzt, ſich weniger durchſcheinend erweiſt und nahe das Anſehn einer erſtarrten trüben Löſung beſitzt.

Wenn man ein leitendes Stück in einem Strome heißer Luft, oder in einem Glaſe über einer niedrigen Gasflamme erwärmt, ausſtreckt, faltet und einige Zeit zwiſchen den Fingern knetet, wie wenn man die darin enthaltene Feuchtigkeit ausdrücken wollte, ſo wird es ein eben ſo guter Iſolator wie das beſte.

Ein gut iſolirendes Stück Gutta-Percha vier Tage lang in Waſſer eingeweicht, erhält durch zwölfſtündiges Liegen an der Luft ſein Iſolationsvermögen wieder.

Ein nicht iſolirendes Stück wurde durch achttägiges Liegen in einem Trockenſchrank ſehr verbeſſert, eine äußere Schicht ward iſolirend; an friſchen Schnittflächen zeigte ſich aber das Innere noch leitend.

Gutta-Percha, einer allmälig bis auf 170 bis 180° C. geſteigerten Temperatur ausgeſetzt, gab einen bedeutenden Antheil Waſſer aus; nach dem Erkalten iſolirte die Maſſe ebenſo gut wie friſche Gutta-Percha.

Elektricität des geriebenen Glaſes. Es iſt bekannt, daß die Na- 4
tur der Elektricität, welche das Glas beim Reiben annimmt, davon abhängt, welches Reibzeug man anwendet. Nun aber hat Heintz (P. A. LIX, 305) ferner gezeigt, daß man durch verſchiedene Mittel das Glas in einen ſolchen Zuſtand verſetzen könne, daß es bei ſchwacher Reibung mit Körpern, die es ſonſt poſitiv elektriſch machen, negativ elektriſch wird.

Wenn man einen Glasſtab mehrmals durch die Flamme einer Spirituslampe zieht, wodurch er jede Spur etwa an ihm haftender Elektricität verlieren muß, wird er durch ſchwaches Reiben mit Tuch, welches doch gewöhnlich das Glas poſitiv elektriſch macht, negativ elektriſch, und erſt durch fortgeſetztes und ſtärkeres Reiben tritt die poſitive Elektricität wieder auf.

Es iſt nicht etwa die Wärme des Glasſtabes, welche dies veranlaßt, denn wenn man den durch die Flamme gezogenen Stab vollſtändig erkalten, ja wenn man ihn mehrere Tage ruhig liegen läßt, ſo wird er bei ſchwachem Reiben mit Tuch doch negativ elektriſch.

Dieſer Verſuch zeigt, daß die Wärme nicht die unmittelbare Urſache des oben erwähnten Phänomens iſt, es wäre aber doch möglich, daß die Wärme der Flamme die Urſache jenes Zuſtandes der Glasoberfläche ſey, vermöge deſſen ſie ſchwach gerieben negativ elektriſch wird. Doch iſt auch dies nicht der Fall, wie Heintz gezeigt hat.

Wenn man einen vollkommen gereinigten Glasſtab mit Stanniol umwickelt oder ihn in ein Glasrohr ſteckt und ihn dann in die Weingeiſtflamme hält, ſo daß er nicht unmittelbar von der Flamme beſpült, wohl aber erwärmt werden kann, ſo zeigt er die erwähnte Eigenthümlichkeit nicht, ſelbſt wenn er zu ſehr hohen Temperaturgraden erwärmt worden war.

Um dem Glasſtab die Eigenſchaft zu ertheilen, bei ſchwacher Reibung mit Tuch negativ elektriſch zu werden, iſt es nicht nöthig ihn unmittelbar in die Flamme zu halten, es reicht hin, wenn man ihn in einem Abſtande von etwa 3 Zoll über der Spitze der Flamme einer guten Weingeiſtlampe mit doppeltem Luftzuge hin und her bewegt.

Um die Glasſtäbe gehörig zu reinigen, wurden ſie mit Kalihydrat abgewaſchen und mit deſtillirtem Waſſer abgeſpült.

Andere Flammen brachten auf Glasſtäbe im Weſentlichen dieſelbe Wirkung hervor, wie die Weingeiſtflamme.

Eine chemiſche Wirkung der Verbrennungsproducte auf der Oberfläche des Glaſes kann nicht die Urſache der Erſcheinung ſeyn, denn Waſſerdämpfe bringen dieſe Wirkung nicht hervor, wohl aber die Flamme von brennendem Waſſerſtoffgas, wo ſich doch auch nur Waſſerdämpfe bilden.

Wenn man einen Glasſtab in concentrirte Schwefelſäure, Salzſäure oder Salpeterſäure taucht, ihn nach dem Herausnehmen mit deſtillirtem Waſſer ſo lange abſpült, bis das abfließende nicht mehr ſauer reagirt, dann das noch an demſelben haftende Waſſer abſchwenkt und den Reſt an der Luft verdunſten läßt, ſo verhält ſich der Stab gerade ſo, als ſey er durch eine Weingeiſtflamme gezogen, er wird durch Reiben negativ elektriſch.

Alkalien wirken nicht ſo wie Säuren, ſie erhalten den Glasſtab vollſtändig poſitiv.

Zwiſchen verſchiedenen Glasſtücken zeigt ſich ein großer Unterſchied in Beziehung auf die Leichtigkeit der Annahme des beſprochenen Zuſtandes.

Auf Bergkryſtall, Kalkſpath, Gyps und Schwerſpath wirkt die Flamme eben ſo ein wie auf Glas.

Andererſeits iſt es nicht gelungen, ſolche Körper, die durch Reiben negativ zu werden pflegen, durch ähnliche Mittel ſo zu verändern, daß ſie dadurch poſitive Elektricität annehmen.

In Beziehung auf das Reibzeug ſtellte ſich heraus, daß bei dieſen Verſuchen das Tuch wohl durch Leder, Siegellack, Seide, aber nicht durch Kienmaier'ſches Amalgam erſetzt werden könne; wird dagegen ein durch eine Weingeiſtlampe zu dem Verſuch vorbereiteter Glasſtab auf Stanniol gerieben, ſo zeigt er ſtets negative Elektricität; daſſelbe geſchieht auch noch bei Anwendung anderer Metalle; auch wenn man den präparirten Glasſtab einmal in Queckſilber eintaucht, ſo zieht man ihn mit negativer Elektricität heraus. Durch wiederholtes Eintauchen wird er poſitiv.

Wenn man ſagt, »daß der Glasſtab, wenn er in die Flamme irgend eines brennbaren Körpers gehalten oder nur in concentrirte Säure getaucht wird, auf der Oberfläche eine Veränderung erleidet, die unmittelbar durch die Sinne nicht wahrgenommen werden kann, die ſich aber durch das Elektroſcop erkennen läßt«, ſo kann man dies keineswegs eine Erklärung, ſondern nur einen modificirten Ausdruck für die Thatſache nennen.

Ueber das elektriſche Leitungsvermögen einiger Stoffe. Rieß (P. A. LXIV, 51) hat mehrere Körper in Beziehung auf ihr Leitungsvermögen und ihre Fähigkeit durch Reiben elektriſch zu werden, unterſucht.

Ein drei Linien dickes Stäbchen von Selen iſt im Stande, ein gelade-

nes Goldblattelektrometer faſt augenblicklich zu entladen, man kann mit Hülfe deſſelben Funken aus dem Conductor einer Elektriſirmaſchine ziehen, iſolirt angefaßt und an einer Stelle gegen Flanell gerieben, wurde es ſeiner ganzen Ausdehnung nach negativ elektriſch. In ſeinem gewöhnlichen Zuſtande iſt alſo die Oberfläche des Selens leitend.

Als an einer Stelle der Oberfläche die Subſtanz durch Schmelzung erneuert wurde, leitete ſie die Elektricität nicht ſo gut wie früher, und ein an der Flamme gezogener Selenfaden iſolirte ſo gut wie Schellack. Mit Flanell, Leder, Leinenzeug oder auch nur durch die trockenen Finger gezogen, wird ein ſolcher Faden ſtark negativ elektriſch.

Das Selen gehört alſo zu den Nichtleitern der Elektricität und wird durch Reiben elektriſch, wenn ſeine Oberfläche ganz rein iſt.

Jod iſt ein unvollkommener Leiter der Elektricität. Ein $6\frac{1}{4}$ Linien dicker, $20\frac{1}{2}$ Linien langer Stab dieſes Körpers entlud ein Elektroſcop in einer Sekunde; ohne Iſolation konnte dieſer Cylinder nicht elektriſch gemacht werden, iſolirt gegen Flanell gerieben wurde er ſchwach negativ elektriſch.

Der Retinasphalt iſt ein Iſolator, vorausgeſetzt, daß man mit Stücken von reiner glasglänzender Oberfläche zu thun hat. Lederbraune Stücke mit rauher zerriſſener Oberfläche dagegen ſind leitend, wie dies ja auch bei Bernſteinſtücken mit rauher Oberfläche der Fall iſt.

Berillium und Aluminium ſind in Pulverform, gehörig getrocknet, Nichtleiter der Elektricität.

Elektricitätserregung durch Waſſerdampf, welcher aus engen Oeffnungen ausſtrömt. 6 Herr Armſtrong zu Newcaſtle (P. A. LII, 328. Phil. Mag. Ser. vol. XVII, pag. 370 u. 452, vol. XVIII, p 50) am Tyne wurde gegen Ende 1840 benachrichtigt, daß man zu Seghill, etwa 6 engliſche Meilen von Newcaſtle beim Ausſtrömen des Dampfes aus einem Dampfkeſſel eine ſehr ungewöhnliche elektriſche Erſcheinung beobachtet habe. Aus einer undicht gewordenen Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils ſtrömte nämlich Dampf aus; der Maſchinenwärter faßte, während er zufällig die eine Hand in den Dampfſtrahl hielt, mit der andern nach dem Hebel des Ventils, um ſeine Belaſtung zu ajuſtiren, als zwiſchen dieſem Hebel und ſeiner Hand ein Funken überſchlug und er einen ſtarken elektriſchen Schlag erhielt.

Armſtrong begab ſich an Ort und Stelle und fand dieſe Angaben beſtätigt; nur waren die Funken nicht mehr ſo kräftig, wie man ſie vorher beobachtet hatte, was er dem Umſtande zuſchrieb, daß Tags vor ſeiner Ankunft der Keſſel von einer dünnen Kalk-Incruſtation befreit worden war, was jedoch, wie ſich durch ſpätere Unterſuchungen herausſtellte, durchaus keinen Einfluß auf die Elektricitätserregung hat.

In weiterem Verlaufe der Unterſuchung ſtellte ſich Armſtrong auf einen Iſolirſchemel und fand, daß alsdann die Funken weit ſtärker waren. Ein Metallſtab, an deſſen einem Ende ſich eine Meſſingplatte befand, während das andere Ende mit einer Kugel verſehen war, wurde mittelſt einer iſolirenden Handhabe ſo gehalten, daß die Platte in den Dampfſtrahl kam; der ganze iſolirte Leiter zeigte ſich nun elektriſch und man konnte aus dem Knopfe Funken ziehen. Wurde der Knopf dem Keſſel bis auf ¼ Zoll genähert, ſo ſchlugen 60 bis 70 Funken in der Minute über. Die größte Entfernung zwiſchen Knopf und Keſſel, bei welcher noch ein Funke erſchien, war 1 Zoll.

Die Belaſtung des Ventils betrug 35 Pfund auf den Quadratzoll. Die Stärke der Elektricitätserregung nahm mit der Spannung des Dampfes im Keſſel zu und ab.

Die Elektricität des Dampfes und des in denſelben gehaltenen Leiters war poſitiv.

An andern Keſſeln angeſtellte Verſuche gaben ähnliche Reſultate; beſonders kräftige Funken wurden mit einer Locomotive erhalten. Armſtrong ſtand auf einem Iſolirſchemel und nahm in die eine Hand einen leichten Eiſenſtab, der in den dem Sicherheitsventil entſtrömenden Dampf gehalten wurde. Näherte er nun die andere Hand einem uniſolirten Leiter, ſo erhielt er 1 Zoll lange Funken. Die Funkenlänge nahm bis auf 2 Zoll zu, als der Stab 5 bis 6 Fuß über das Sicherheitsventil gehalten wurde.

Auch aus der unter dem Schoppen, in welchem die Locomotive ſtand, ſich anhäufenden Dampfwolke ließ ſich, wie durch Blitzableiter aus einer Gewitterwolke, Elektricität herabziehen.

Als das obere Ende des in der Hand gehaltenen Stabes mit einem Bündel ſpitzer, nach unten gerichteten Drähte verſehen wurde, konnte man am unteren mit einem Knopf verſehenen Ende 4 Zoll lange Funken erhalten.

Um die negative Elektricität nachzuweiſen, welche der poſitiven Elektricität des ausſtrömenden Dampfes entſpricht, wurde die Locomotive von den Schienen abgehoben und mit ihren Rädern auf iſolirende Unterlagen geſtellt. Jede dieſer Unterlagen beſtand aus zwei Stücken gedörrten mit Pech überzogenen Holzes, getrennt durch eine Zwiſchenlage von Pech und Packpapier. Hierauf brachte man das Waſſer im Keſſel ins Sieden. So lange der Dampf eingeſchloſſen blieb, gab der Keſſel keine Anzeige von Elektricität, ſo wie man ihn aber entweichen ließ, zeigte ſich der Keſſel ſtark negativ.

Die Funken aus dem Keſſel waren nie länger als 1 Zoll, was leicht begreiflich iſt, wenn man bedenkt, daß die Elektricität des Keſſels wegen

der vielen Ecken und Hervorragungen der Locomotive keine hohe Spannung erreichen konnte.

Die Verſuche, welche Armſtrong anſtellte, um die Quelle der an Dampfkeſſeln beobachteten Elektricität zu ermitteln, können hier füglich übergangen werden, da ſie zu keinem entſcheidenden Reſultat führten; wir gehen ſogleich zu den Unterſuchungen über, welche Faraday über dieſen Gegenſtand anſtellte.

Faraday's Unterſuchungen über Hydroelektricität. Das Weſentlichſte der Reſultate, welche Faraday's Unterſuchungen über Hydroelektricität lieferten, iſt bereits in meinem Lehrbuch der Phyſik (3e Aufl. 2r Th. S. 82) erwähnt, hier bleiben deshalb nur noch einige Details zu beſprechen. 7

Der von Faraday angewandte Apparat (P. A. LX, 321) war nicht darauf berechnet, Dampf in Menge oder von hohem Druck zu liefern, da es ſein Zweck war, die Urſache der Erſcheinung zu ermitteln und nicht die Erregung der Elektricität zu verſtärken. Sein Keſſel hielt 10 Gallonen (45 Liter) Waſſer und geſtattete 5 Gallonen zu verdampfen. An dieſem Keſſel war eine 4,5 Fuß lange Röhre befeſtigt, welche ungefähr $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmeſſer hatte und an ihrem Ende eine Kugel von ungefähr 4 Zoll Durchmeſſer trug, die er die Dampfkugel nennt und an welche verſchiedene Mundſtücke angeſchraubt werden können.

Fig. 1.

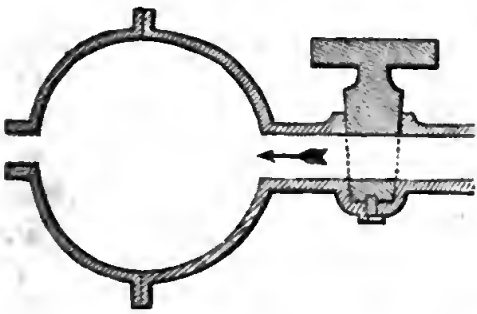


Fig. 2.

Der Keſſel war gut iſolirt. —

Als Mundſtück ſey ein in Waſſer getränktes Buchsbaumröhrchen an die Dampfkugel angeſchraubt. Wenn die Dampfkugel kein Waſſer enthält, ſo erregt nach den erſten Momenten, und ſobald der Apparat heiß iſt, der ausſtrömende Dampf keine Elektricität. Iſt aber die Kugel ſo weit mit Waſſer gefüllt, daß Waſſer durch den Dampf mit fortgetrieben wird, ſo erſcheint eine Fülle von Elektricität.

Iſt ſtatt des Buchsbaumröhrchens der Apparat Fig. 2 angeſchraubt, welcher aus einem Röhrchen beſteht, in welches von oben her durch Oeffnen eines Hahnes aus einem ſchmalen Gefäß *b* Waſſer eingelaſſen werden kann; ſo erhält man durch das

Ausſtrömen des Dampfes keine Elektricität, wenn die Dampfkugel leer von Waſſer und der Hahn *c* geſchloſſen iſt; ſobald man aber den Hahn öffnet, ſo daß Waſſer in das Ausſtrömungsrohr tröpfelt und durch den Dampf mitgeriſſen wird, ſo entwickelt ſich ſogleich Elektricität.

Daraus geht hervor, daß der Dampf allein nicht genügend iſt, um Elektricität zu entwickeln, es muß nothwendig condenſirter Dampf, alſo tropfbar flüſſiges Waſſer, ſich an die Wände des Ausflußkanals reiben, oder mit andern Worten, die Elektricität entſpringt gänzlich aus der Reibung der vom Dampfe fortgeführten Waſſertheilchen.

Läßt man durch den Apparat, Fig. 2, ſtatt reinen Waſſers ſolches Waſſer in die Ausflußröhrchen ein, in welchem nur eine geringe Menge irgend eines Salzes aufgelöſt, oder welches etwas Säure enthält, ſo hört alle Elektricitätsentwickelung auf.

Dies rührt, wie Faraday richtig bemerkt, daher, daß die Leitungsfähigkeit des Waſſers durch dieſe Subſtanzen ſo erhöht wird, daß die bei ſeiner Reibung an Metall oder einem andern Körper erregte Elektricität ſich unmittelbar wieder entladen kann. Es iſt dies gerade ſo, wie wenn wir Schellack durch Flanell zu erregen ſuchen, welcher ſtatt trocken zu ſeyn feucht iſt.

Da Ammoniak die Leitungsfähigkeit des Waſſers nur unbedeutend erhöht, ſo ſchloß Faraday, daß eine Ammoniaklöſung, ſtatt reinen Waſſers in die Ausflußröhrchen gebracht, noch eine Elektricitätserregung geben müſſe. Der Verſuch beſtätigte dieſe Vermuthung.

Metalle, Holz, Glas, Schellack, Schwefel u. ſ. w. werden durch Reiben mit dem Dampf- und Waſſerſtrom negativ, während der Strom ſelbſt mit poſitiver Elektricität entweicht. Ein Röhrchen von Elfenbein als Ausflußmündung benutzt, giebt faſt gar keine Elektricitätsentwickelung, ſo daß weder der Keſſel noch der Dampfſtrom elektriſch iſt.

Läßt man den unelectriſchen Strom von Dampf und Waſſer gegen verſchiedene Körper ſtoßen, ſo entwickelt ſich hier Elektricität. Wenn man über eine Gabel von ſteifem Draht Drähte oder Fäden ſpannt und dieſes Geflecht iſolirt in den nichtelektriſchen Dampf- und Waſſerſtrom hält, ſo wird es elektriſch, wie ſich mit einem Goldblattelektrometer nachweiſen läßt. Auf dieſe Weiſe fand Faraday, daß Leinen, Baumwolle, Seide, Wolle, Garn u. ſ. w. durch die Reibung mit dem Dampf-Waſſerſtrom ebenfalls negativ elektriſch werden.

Als Faraday einen iſolirten Draht in den aus einem Glas- oder Metallrohr kommenden, alſo poſitiv elektriſchen Dampfſtrom, und zwar ungefähr ½ Zoll von der Mündung des Rohrs hielt, blieb er, der Draht nämlich, unerregt; näher bei der Mündung des Rohrs gehalten, wurde er negativ, weiter davon entfernt hingegen poſitiv. — Es kommt dies daher,

daß der Draht, wenn er dem Rohre nahe iſt, in dem kräftigen Theile des Stroms erregt und negativ wurde, wobei der Dampf- und Waſſerſtrom poſitiver wurde als zuvor; weiter weg hingezogen, in dem ruhigen Theile des Stromes findet keine merkliche Erregung durch Reibung Statt, der Draht dient hier nur als Entlader des poſitiven Dampfſtroms, von dem er einen Theil ſeiner poſitiven Elektricität aufnimmt.

Bringt man durch den Hahn, Fig. 2, etwas Terpentinöl in die Ausflußröhre, ſo wird der Keſſel poſitiv, der ausſtrömende Dampf negativ; wenn der Hahn wieder geſchloſſen wird, ſo kehrt ſich der Zuſtand bald wieder um, weil das Oel ſehr raſch verſchwindet. Mit Olivenöl ſind die Erſcheinungen im Allgemeinen dieſelben, d. h. der Strom von Dampf und Waſſer wird negativ, der Keſſel poſitiv, doch iſt dieſer Zuſtand bleibender. Sehr wenig Olivenöl in die Ausgangsröhre gebracht, macht den Keſſel für lange Zeit poſitiv.

Nahm man eine Holzröhre zum Erregen und brachte man etwas Oel in deren inneres Ende, d. h. an das Ende, in welches der Dampf eintritt, ſo wurde der Keſſel poſitiv, der austretende Dampf negativ, brachte man aber das Oel an das äußere Ende der Röhre, ſo wurde der Keſſel negativ, der Dampfſtrom poſitiv.

Iſt an die Dampfkugel eine einfache Ausflußröhre angeſchraubt, ſo bringt Oel ſeine Wirkung auch hervor, wenn man auf das in der Dampfkugel enthaltene Waſſer etwas Oel bringt, wenn jedoch die Dampfkugel gar kein Waſſer, ſondern nur Oel enthält, ſo fand gar keine Elektricitätserregung Statt.

Speck, Wallrath, Bienenwachs, Ricinusöl, Harz gelöſt in Alkohol und Lorbeeröl wirken wie Baumöl und Terpentinöl.

Faraday iſt nun der Meinung, daß dieſe Wirkungen ſo zu erklären ſeyen, daß nicht mehr Waſſer an den Kanalwänden ſich reibt, ſondern das Oel, indem wohl jedes kleine Waſſerkügelchen mit einer ganz dünnen Oelſchicht überzogen ſey.

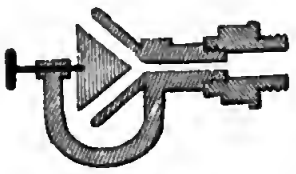
Für dieſe Anſicht führt er an, in welch dünne Schichten ſich Oel auf einer Waſſerfläche ausbreite, ferner aber, daß der Zuſatz von etwas Salz oder Säure, welcher ſonſt alle Erregung von Elektricität vernichtet, bei Gegenwart von Oel dieſe Wirkung nicht hat, d. h. wenn Oel in der Ausflußröhre iſt, ſo findet noch eine Erregung Statt, wenn das Waſſer auch etwas ſalzig oder ſauer iſt.

Ich ſehe unter dieſen Thatſachen jedoch keine einzige, welche mit der mir wenigſtens viel natürlicher ſcheinenden Anſicht in Widerſpruch ſtände, daß man nicht Oel an den Kanalwänden, ſondern Waſſer an den durch das Oel veränderten Kanalwänden reibend zu betrachten habe, eine Anſicht, die auch Faraday nicht ganz ausſchließt, indem er ſagt: »Es iſt ſehr

wahrſcheinlich, daß, wenn Holz, Glas oder ſelbſt Metall durch dieſe Oelſtröme gerieben wird, das Oel nicht bloß reibend an Holz u. ſ. w., ſondern auch an Waſſer betrachtet werden muß u. ſ. w.«

Läßt man aus einem Gefäß, in welchem ſich comprimirte Luft befindet, dieſe gegen einen Kegel von Holz oder Meſſing ſtrömen, der vor der Ausflußöffnung ſo angebracht iſt, wie man Fig. 3 ſieht (ob dieſer Kegel mit dem Gefäß, in welchem ſich die comprimirte Luft befindet, bei dieſen Verſuchen in leitender Verbindung war oder nicht, läßt ſich aus der Faraday'ſchen Darſtellung nicht entnehmen), ſo fand gar keine Elektricitätserregung Statt, ſobald die Luft gehörig getrocknet war; war aber die Luft feucht, ſo wurde der Kegel negativ. Faraday ſchreibt dieſe Elektricitätserregung den Waſſertheilchen zu, welche durch die Ausdehnung und Abkühlung der am Kegel ſich reibenden Luft verdichtet werden. Solche Theilchen werden in dem erſcheinenden Nebel ſichtbar, ſowie auch dadurch, daß ſie die Oberfläche des Holzes oder des Metalls feucht machen.

Fig. 3.



Wenn der Luftſtrom Waſſertheilchen, die er auf ſeinem Wege mitgeriſſen hatte, gegen den Kegel ſchleuderte, ſo wurde er (der Kegel) natürlich auch negativ erregt.

Wenn der Luftſtrom gepulverte Körner mit ſich führt, ſo ſind auch dieſe zur Elektricitätserregung fähig. Schwefelblumen z. B. machen Holz und Metall negativ, Kieſelerde machte beide poſitiv. Andere Körper, wie gepulvertes Harz und Gummi, gaben unſtete Reſultate.

8 **Elektricitätserregung durch Ausſtrömung flüſſiger Kohlenſäure.** Am obern Ende einer ſtarken Glasſäule brachte Jolly eine Holzfaſſung an, welche geeignet iſt, um daran den Kolben der Natterer'ſchen Condenſationsmaſchine ſo zu befeſtigen, daß die Ausſtrömungsöffnung nach unten gerichtet iſt. Sobald dieſe Oeffnung aufgeſchraubt wird, und nun die flüſſige Kohlenſäure ausſtrömt, wird der Kolben elektriſch, ſo daß man kleine Fünkchen aus ihm ziehen kann.

9 **Armſtrong's Hydroelektriſirmaſchine.** Die Beſchreibung dieſer Maſchine findet ſich ſchon in meinem Lehrbuch der Phyſik. Vor den größten und beſten Scheibenmaſchinen zeichnet ſie ſich nicht ſowohl durch eine höhere Spannung, als dadurch aus, daß ſie eine ungleich größere Quantität von Elektricität liefert. Die Funkenlänge iſt nicht größer als bei den ausgezeichnetſten Scheibenmaſchinen, alle Wirkungen aber, bei denen es darauf ankommt, in kurzer Zeit eine große Elektricitätsmenge zu liefern, ſind bei der Hydroelektriſirmaſchine viel ausgezeichneter.

Die größte Kraft entwickelt ſie, wenn die Elektricität in Form eines

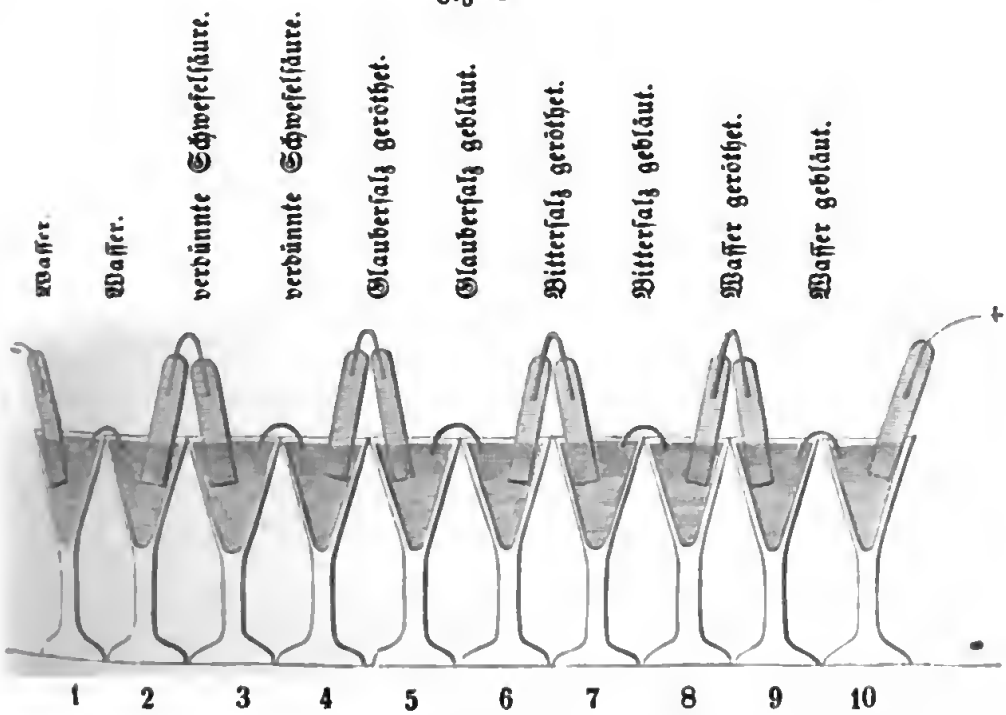
Stromes, ohne zerreißende Entladung ausgezogen wird. — So wird die wahre elektrolytiſche Waſſerzerſetzung, welche bisher niemals unzweifelhaft mit Reibungselektricität erhalten wurde, auf die klarſte und entſchiedenſte Weiſe durch die Hydroelektriſirmaſchine erhalten.

Es wurden 10 Weingläſer in eine Reihe geſtellt. Es enthielten

1 und 2 deſtillirtes Waſſer,
3 und 4 deſtillirtes Waſſer + $\frac{1}{6}$ Volumen Schwefelſäure,
5 Glauberſalzlöſung geröthet mit geſäuertem Lakmus,
6 Glauberſalzlöſung gebläut mit Lakmus,
7 Bitterſalzlöſung geröthet mit geſäuertem Lakmus,
8 Bitterſalzlöſung gebläut mit Lakmus,
9 deſtillirtes Waſſer geröthet mit geſäuertem Lakmus,
10 deſtillirtes Waſſer gebläut mit Lakmus.

Glasröhren von $3\frac{1}{2}$ Zoll Länge, die oben geſchloſſen, mit den reſpectiven Flüſſigkeiten gefüllt und am obern Ende mit eingeſchmolzenen, theils hinein, theils herausragenden Platindrähten verſehen waren, verbanden mittelſt dieſer Drähte, wie man Fig. 4 ſieht, die Gläſer 2 und 3, 4 und 5,

Fig. 4.



6 und 7, 8 und 9, während 1 und 2, 3 und 4, 5 und 6, 7 und 8, 9 und 10 durch naſſe Baumwollfäden verbunden waren, und zwei Röhren von der beſchriebenen Einrichtung die eine im Glas Nro. 1, die andere im Glaſe Nro. 10 ſich befanden. Der Draht des Röhrchens im Glaſe Nro. 1

war mit dem Keſſel, der Draht des Röhrchens im Glas Nro. 10 mit einer bleiernen Röhrenleitung in leitender Verbindung.

Sowie die Dampfelektriſirmaſchine in Thätigkeit geſetzt wurde, erſchienen Gasblaſen an allen Drähten, an den negativen genau in doppelter Volummenge, als an den poſitiven, und es zeigte ſich bei nachheriger Unterſuchung, daß das erſtere Waſſerſtoff, das letztere Sauerſtoff war. Nach 2—3 Minuten wurde das Waſſer im Glaſe Nro. 9 rings um den Draht blau, in 10 aber roth, und ähnliche Farbenveränderungen traten, wenn auch nicht ſo raſch, in den Glauberſalz- und Bitterſalzlöſungen ein.

Der Verſuch wurde fortgeſetzt, bis die Spannkraft des Dampfes von 75 Pfund auf 40 Pfund pro Quadratzoll heradgeſunken war. Dann wurde der Dampf abgeſperrt, der Keſſel verſchloſſen gehalten, bis die Spannkraft wieder auf ihren anfänglichen Werth gelangt war, und nun der Verſuch nochmals wiederholt, und zwar ſtets mit demſelben Erfolg.

Es war keine Abnahme in der Menge der entwickelten Gaſe zu ſpüren, wenn in dem Ableitungsdraht irgendwo eine kleine Unterbrechung angebracht war, ſo daß die Elektricität ſtatt in einem ſtetigen Strom überzugehen, es in kurzen Funken that.

Bei ähnlichen Verſuchen leitete Armſtrong den Strom bloß durch zwei mit deſtillirtem Waſſer gefüllte Gläſer, die durch einen Seidenfaden mit einander verbunden waren; es zeigte ſich dabei die von der Volta'ſchen Säule her wohlbekannte Erſcheinung, daß das Niveau in dem Glaſe, welches den negativen Pol enthielt, bedeutend ſtieg und im andern ſank.

Es wurde hierbei noch eine andere intereſſante Erſcheinung beobachtet. Als nämlich die beiden Gläſer bis zum Rande mit Waſſer gefüllt auf 0,4 Zoll mit ihren Rändern einander genähert und durch einen feuchten Seidenfaden, der lang in das Waſſer beider herabſchlängelte, verbunden wurden, zeigte ſich:

1) daß ſogleich zwiſchen beiden Gläſern eine den Faden einhüllende Waſſerſäule entſtand, und der Seidenfaden ſich von dem mit dem negativen Pol verbundenen Glaſe zu dem andern in Bewegung ſetzte, und ſehr bald in dieſes, das den poſitiven oder zum Erdboden führenden Pol enthielt, hinüdergezogen war.

2) Daß, nachdem dies geſchehen, das Waſſer einige Sekunden fortfuhr, und zwar ohne Hülfe des Fadens, zwiſchen beiden Gläſern ausgeſtreckt zu bleiben, und daß darauf, als es ſich zertheilte, die Elektricität in Funken überging.

3) Daß, wenn der Seidenfaden mit ſeinem Ende im negativen Glaſe befeſtigt ward, das Waſſer im poſitiven Glaſe ab-, im negativen zunahm, deutlich zeigend, daß ſeine Bewegung der des Fadens bei freier Beweglichkeit entgegengeſetzt war.

4) Bei Aufſchüttung von Staubtheilchen auf die Oberfläche des Waſſers gewahrt man, daß zwiſchen den Gläſern zwei entgegengeſetzte Ströme vorhanden waren, ein innerer, vom negativen zum poſitiven Glaſe, und ein äußerer, den andern einſchließend, vom poſitiven zum negativen. Zuweilen reichte der äußere Strom nicht in das negative Glas, ſondern tröpfelte an der Außenſeite derſelben herab und dann häufte ſich das Waſſer nicht im negativen Glaſe an, ſondern verminderte ſich in beiden.

5) Nach vielen fruchtloſen Verſuchen gelang es, das Waſſer auf mehrere Minuten ohne Hülfe eines Fadens von einem Glaſe zum andern übergehend zu machen. Nach Verlauf dieſer Zeit konnte an der Waſſermenge in beiden Gläſern keine merkliche Veränderung wahrgenommen werden. Es ſchien daher, daß die beiden Ströme beinahe, wenn nicht ganz, gleich ſeyen, ſobald der innere nicht durch die Reibung am Faden verzögert wird.

Für das Gelingen dieſes Verſuchs iſt es weſentlich, daß das Waſſer vollkommen chemiſch rein ſey. Die geringſte Verunreinigung macht das Waſſer auf dem Faden ſieden, der Faden wird beinahe trocken und durch die vom elektriſchen Strome entwickelte Hitze zerſtört.

Auch andere chemiſche Wirkungen, wie Fällung von Kupfer aus ſeiner Löſung auf Silber, die Zerſetzung von Jodkalium u. ſ. w., ließen ſich mittelſt dieſer Elektriſirmaſchine vollſtändig bewirken.

Endlich gelang es auch, indem die von Dampf entwickelte Elektricität durch ein Drahtgewinde geleitet wurde, die Magnetnadel abzulenken und einen Cylinder von weichem Eiſen zu magnetiſiren.

Quelle der Luftelektricität noch unbekannt. Schon Volta und Sauſſüre ſprachen die Anſicht aus, daß die Luftelektricität in der Verdampfung des Waſſers ihren Urſprung habe und ſtützten ſich dabei auf Verſuche, welche die Elektricitätsentwickelung durch Verdampfung beweiſen ſollten. Dieſe Verſuche gaben jedoch nicht immer ſichere Reſultate. Durch Pouillet's Unterſuchungen wurde die Urſache dieſer Unſicherheit ſcheinbar aufgefunden; die Elektricitätsentwickelung findet, ſeinen Verſuchen zufolge, nicht bei Verdampfung des reinen Waſſers, ſondern bei der Verdampfung von Waſſer Statt, welches Salze, Säuren oder Alkalien aufgelöſt enthält.

In der erſten Auflage meiner Bearbeitung von Pouillet's Phyſik finden ſich die entſprechenden Verſuche auf Seite 521 des erſten Theils beſchrieben. Für mich waren jene Verſuche ſchon damals nicht überzeugend, ſie ſchienen mir nicht mit der nöthigen Vorſicht und Umſicht angeſtellt zu ſeyn, um die Pouillet'ſche Anſicht außer Zweifel zu ſetzen, was mich beſtimmte, den entſprechenden Paragraphen des Lehrbuchs mit dem Wunſche zu ſchließen, es möchte eine kritiſche Wiederholung dieſer Ver-

ſuche vorgenommen werden. — In den ſpätern Auflagen meines Lehrbuchs der Phyſik habe ich den ganzen Paragraphen weggelaſſen, weil mir ſein ganzer Inhalt noch zu problematiſch und deshalb für ein Lehrbuch nicht geeignet ſchien.

Durch Armſtrong's Entdeckung und Faraday's Unterſuchung der Elektricitätserregung durch ausſtrömenden Dampf wurde nun für die Auslegung der Verſuche Pouillet's ein neuer Standpunkt gewonnen, von welchem aus Reich und Rieß dieſelben wiederholten und das wahre Sachverhältniß ermittelten.

Reich hat ſeine Verſuche in den »Abhandlungen bei der Begründung der königl. ſächſiſchen Geſellſchaft der Wiſſenſchaften u. ſ. w.«, herausgegeben, Leipzig 1846, Seite 199 publicirt.

Die von Pouillet angeführten Verſuche fand er beſtätigt. Läßt man in einen reinen mit einem empfindlichen Elektroſcop verbundenen und iſolirten Platintiegel, den man vorher erhitzt, dann aber von der Wärmequelle entfernt hat, reines Waſſer eintropfen und verdampfen, ſo erhält man keine Elektricität, weder mit noch ohne Condenſator.

Tropft man eine Kochſalzlöſung in den heißen Tiegel, ſo erhält man anfänglich, ſo lange der Tropfen wegen zu großer Hitze des Tiegels kugelförmig umhertreibt, ebenfalls keine, oder nur ſehr geringe Spuren von Elektricität, ſobald aber bei hinlänglicher Abkühlung des Tiegels die Flüſſigkeit aufkocht, ladet ſich der Elektroſcop negativ und zwar bei einem großen Tiegel ziemlich ſtark.

Die Anwendung des Condenſators bringt kaum merklichen Vortheil, indem man ohne Condenſator faſt denſelben Ausſchlag erhält, wie mit demſelben.

Dies und den Umſtand, daß die Elektricitätsentwickelung ſo plötzlich mit dem Aufkochen eintritt, betrachtet Reich als eine beſondere Stütze für die Anſicht, daß hier die Elektricitätsentwickelung nicht die Folge der Verdampfung iſt, ſondern daß lediglich die Reibung der umhergeſpritzten Waſſertheilchen an den heißen Tiegelwänden die Urſache derſelben iſt.

Daß, wenn hier Reibung die Urſache der Elektricitätsentwickelung iſt, erſt dann eine ſtarke Entwickelung derſelben ſtattfinden kann, wenn die Waſſertheilchen heftig umhergeſchleudert werden, iſt klar. Beim Eintröpfeln der Flüſſigkeit zeigen ſich zuweilen Spuren von Elektricität, weil dabei einzelne Theilchen zurückſpritzen können.

Die durch Reibung der umhergeſpritzten Theilchen an den Tiegelwänden entwickelte Elektricität hat eine ziemlich bedeutende Spannung, ſo daß ſie das Goldblättchen des Elektroſcops zur Divergenz bringt, allein die Elektricitätsentwickelung iſt nicht nachhaltig und deshalb hilft der Condenſator nichts.

Daß bei Anwendung von reinem Wasser keine Elektricitätsentwickelung stattfindet, ist wohl so zu erklären, daß bei Salzlösungen das tumultuarische Kochen schon beginnt, während die Gefäßwände noch eine weit höhere Temperatur haben, als es der Fall ist, wenn das reine Wasser ins Kochen kommt. Das reine Wasser findet, wenn seine Theilchen umhergespritzt werden, die Tiegelwände schon so weit erkaltet, daß sie benetzt werden, während sie bei Salzlösungen noch so heiß sind, daß sie daran hinrollen.

In einem Platintiegel, welcher mit einem Elektroscop gehörig verbunden war, brachte Reich Quarzsand, Porzellanstückchen, geröstete Eisenfeile u. s. w. ins Glühen, entfernte die Lampe und bespritzte diese Körper mit reinem Wasser. Während dies im leeren Tiegel keine Spur von Elektricität gab, fand sich unter diesen Umständen stets eine sehr merkliche Elektricitätsentwickelung.

Rieß sagt in einem kleinen Aufsatz (P. A. LXIX, 286), die Abhandlung Reich's habe ihn an die Versuche erinnert, welche er über denselben Gegenstand schon im Jahre 1844 angestellt habe, und unter denen er den folgenden als besonders schlagend und lehrreich hervorhebt.

Ein Platinlöffel mit runder Höhlung, die 0,24 Grammen Wasser faßte, wurde isolirt und durch einen Draht mit dem Stift eines Behrens-Fechner'schen Elektroscops verbunden. Der Platinlöffel wurde durch eine untergestellte Weingeistlampe weißglühend gemacht, die Lampe rasch entfernt, und mit einer Pipette eine bestimmte Menge Kochsalzlösung in den Löffel gebracht, die denselben beinahe anfüllte. Die Flüssigkeit rundete sich ab, rotirte und wurde bei einem gewissen Grade der Abkühlung mit tumultuarischer Verdampfung aus dem Löffel geschleudert. Während dieses ganzen Verlaufs zeigte sich am Elektroscop keine Elektricität.

Nun wurde ein Platinblech zu einem Cylinder von 17 Linien Höhe und 5 Linien Durchmesser aufgerollt und, nachdem derselbe auf die Höhlung des Löffels gestellt worden war, der vorige Versuch wiederholt. Bei der gewaltsamen Verdampfung der Flüssigkeit wurde so viel — E frei, daß das Goldblättchen an dem entsprechenden Pol anschlug.

Dieser Versuch, welcher stets mit gleichem Erfolge erhalten werden konnte, wenn die Platinflächen zuvor von dem ausgeschiedenen Salz befreit worden waren, lehrt uns, daß in den bekannten Pouillet'schen Versuchen nicht die chemische Trennung, welche die Verdampfung begleitet, Ursache der Elektricitätserzeugung ist, sondern die Reibung der feintheilten Flüssigkeit gegen die Tiegelwand, unter der Bedingung, daß die Flüssigkeit über die Wand fortrolle, ohne dieselbe zu benetzen.

Bei allmäliger Verdampfung konnte Rieß nicht eine Spur von *E* nachweiſen. Ebenſo konnte Reich durch Verdampfung unter dem Siedepunkt nicht die allergeringſte Elektricitätsentwickelung entdecken.

Alle Verſuche, welche Reich anſtellte, um eine etwaige Elektricitätsentwickelung durch Condenſation von Waſſerdämpfen zu entdecken, gaben durchaus negative Reſultate.

Rieß wiederholte auch die Verſuche Pouillet's über die Elektricitätsentwickelung durch den Vegetations-Prozeß. Eine iſolirte Porzellanwanne wurde mit Gartenerde gefüllt und in dieſe Gartenkreſſe geſäet. Die ſtets gehörig feucht gehaltene Erde war durch einen Meſſingdraht mit der Collectorplatte eines 6zölligen Condenſators verbunden. Die abgehobene Condenſatorplatte wurde an einem Säulenelektroſcop geprüft. — Vom März bis zum Auguſt 1844 ließ Rieß 11 mal Gartenkreſſe in der Erde keimen und unterſuchte den Condenſator täglich, bis die Kreſſe die Höhe von 2 Zoll erreicht hatte. Häufig fanden ſich Spuren von Elektricität am Condenſator, aber nicht von conſtanter Art; einige Controllverſuche mit unbeſäeter Erde machen es wahrſcheinlich, daß jene elektriſche Spuren nicht von der Vegetation herrühren.

Aus allen dieſen Verſuchen geht hervor, daß die Meinung, als ob Verdampfung und Vegetationsprozeß die Urſachen der Luftelektricität ſeyen, durchaus nicht experimentell begründet iſt.

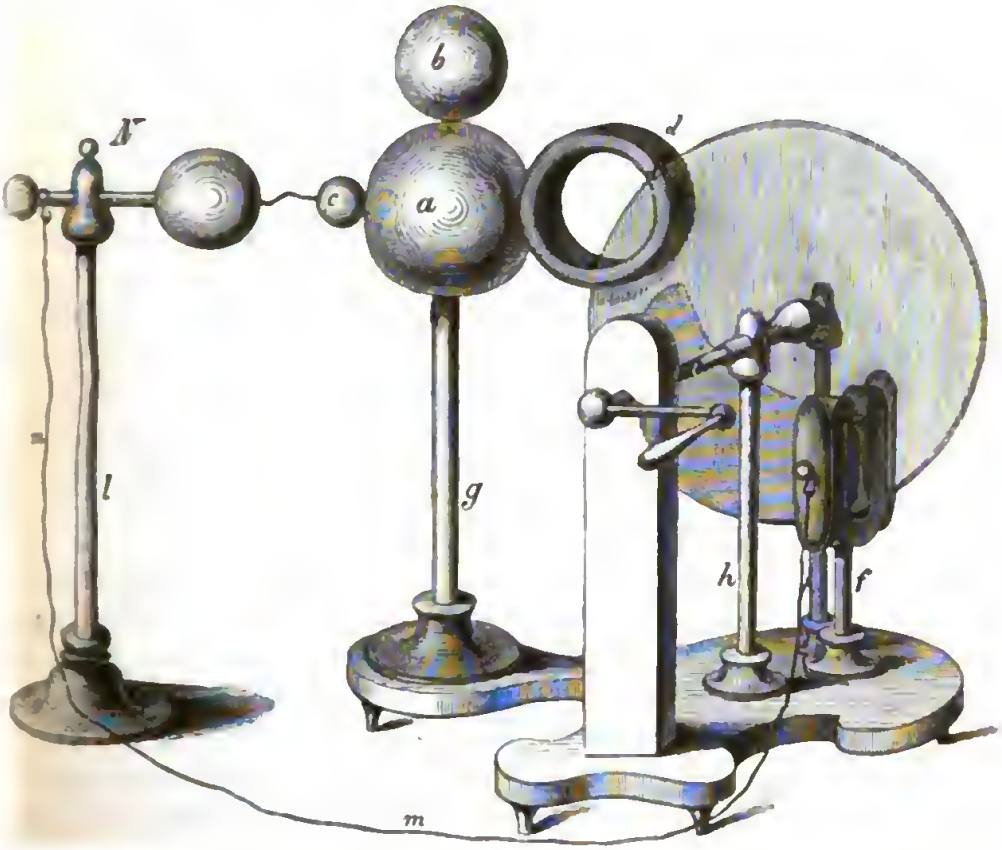
11 **Die Elektriſirmaſchine.** Die Elektriſirmaſchine gehört zu den verbreitetſten und bekannteſten phyſikaliſchen Apparaten, und dennoch wird man nur ſelten kräftige Elektriſirmaſchinen zu billigen Preiſen erhalten können; ich glaube deshalb, daß es Manchem von Intereſſe ſeyn wird, die Conſtruction der Elektriſirmaſchinen kennen zu lernen, nach welcher Herr Carl Winter (k. k. Cataſtral-Lithograph und Elektriker, Wien, Wieden-Waaggaſſe Nr. 501) Maſchinen von ausgezeichneter Wirkſamkeit und zu ſehr billigen Preiſen baut.

Fig. 5 ſtellt eine Maſchine von 15zölliger Scheibe, ungefähr in $\frac{1}{9}$ der natürlichen Größe dar, welche 7 bis 9 Zoll lange Funken giebt. Die Umdrehungsaxe *i* der Scheibe, ſo wie die Säulen *h*, *i*, *g*, *f* und *l* ſind von Glas. Die Säulen *h* tragen die Axe der Scheibe, *f* trägt das Reibzeuggeſtell, *g* trägt den Conductor, *l* den Funkenzieher.

Der Conductor *a* ſammt der Kugel *b* und *c* ſind von Meſſingblech. Um die Ableitung der Elektricität durch die Säule *g* möglichſt gering zu machen, hat der Conductor *a* die ſchon von Van Marum bei der großen Harlemer Maſchine mit Erfolg angewandte Form, welche man aus dem Durchſchnitt, Fig. 6 (a. S. 18), deutlicher erkennen

kann. Der Conductor trägt die beiden Holzringe d, zwiſchen denen ſich die Scheibe bewegt. Dieſe Ringe ſind von polirtem Holze und jeder iſt

Fig. 5.



auf der der Glasſcheibe zugekehrten Seite mit einem Stanniolſtreifchen verſehen, aus welchem die Saugſpitzen hervorragen, und welches bis zum Conductor a fortgeſetzt, die aufgeſaugte Elektricität dieſem zuführt.

Auf die Kugel b wird noch ein Holzſtab von ungefähr 1 Zoll Durchmeſſer und etwas über 1 Fuß Höhe aufgeſteckt, der einen Holzring von nahe 2 Fuß Durchmeſſer trägt, deſſen Querſchnitt dem des Stabes gleich iſt. Stab und Ring ſind mit Stanniol überzogen.

Der Funkenzieher N iſt durch eine Metallſchnur m, welche in Seidenband eingenäht iſt, mit dem Conductor des Reibzeuges in Verbindung geſetzt.

Um negative Elektricität zu erhalten, hat man nur die Schnur m aus dem Conductor des Reibzeugs auszuhängen, und den Conductor a mit dem Boden in leitende Verbindung zu ſetzen.

Das Geſtell, welches das Reibzeug trägt, iſt in Fig. 7 für ſich allein dargeſtellt. Auf einem Glasfuß ſteht das gabelförmige Holzſtück n,

in welchem auf jeder Seite eine Vertiefung zur Aufnahme des Reibzeugs eingeſchnitten iſt; in der Mitte derſelben befindet ſich ein Stanniolſtreifen, welcher die Elektricität von der Feder des Reibzeugs aufnimmt und zum negativen Conductor *o* führt.

Fig. 6.

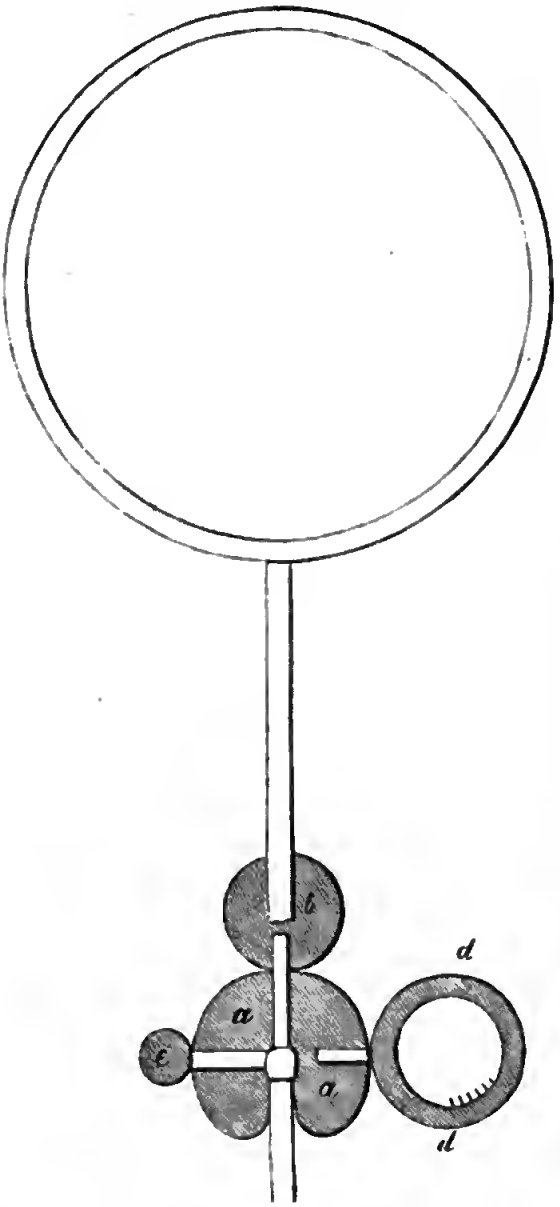


Fig. 7.

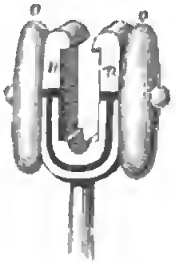


Fig. 8.

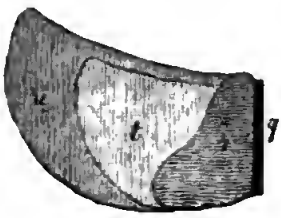
Das Reibzeug ſelbſt iſt in Fig. 8 dargeſtellt, und zwar von der Rückſeite mit Hinweglaſſung des daran befeſtigten Wachstaffents; *p* iſt ein Schieber von Holz, welcher in dem Reibzeuggeſtell eingeſchoben wird; *q* iſt eine Leiſte, welche das Durchſchlüpfen des Reibzeugs verhindert. Auf dem Schieber *p* iſt das amalgamirte Leder *r* befeſtigt. Beim Einſchieben des Reibzeugs wird die Metallfeder *s*, welche mit ihrem ſchmalen Ende auf *p* aufgeſchraubt iſt, niedergedrückt. Wenn einmal das Reibzeug eingeſchoben iſt, ſo drückt dieſe Feder mit genügender Kraft und Elaſticität das Reibzeug gegen die Scheibe.

In der Mitte der Leiſte *q* ſieht man ein Stanniolſtreifchen, welches von der amalgamirten Seite des Leders zur Feder *s* führt, von welcher

dann die Electricität auf die erwähnte Weise zu den Conductoren *o* geleitet wird.

Fig. 9 stellt das Reibzeug von der amalgamirten Seite des Leders angesehen dar, und zwar mit dem Wachstaffent. *l* ist eine einfache, *u* eine doppelte Lage von Wachstaffent.

Fig. 9.



Bei ausgezeichneter Wirksamkeit sind die Winter'schen Maschinen, wie man sieht, sehr einfach construirt.

Folgendes sind die Preise der Winter'schen Maschinen:

Scheibendimension	40″	Funkenlänge	22—24″	Preis	300 fl.	Conv. M.	
»	36″	»	20—22″	»	200 »	»	»
»	30″	»	16—18″	»	160 »	»	»
»	24″	»	12—14″	»	80 »	»	»
»	18″	»	9—10″	»	60 »	»	»
»	15″	»	7— 9″	»	50 »	»	»
»	12″	»	5— 7″	»	40 »	»	»
»	10″	»	4— 5″	»	30 »	»	»
»	8″	»	3— 4″	»	20 »	»	»
»	6″	»	2— 3″	»	12 »	»	»

N. B. mit dazu gehörigem Funkenzieher.

Maschinen nach derselben Construction, gleich wirksam, aber weniger elegant ausgestattet:

Scheibendimension	18″	Preis	50 fl.	Conv. M.	
»	15″	»	40 »	»	»
»	12″	»	30 »	»	»
»	10″	»	20 »	»	»
»	8″	»	16 »	»	»
»	6″	»	10 »	»	»

Herr Winter hat es in der Anfertigung electrischer Apparate wirklich zu einer großen Virtuosität gebracht. Vielen elektrischen Versuchen und Spielereien hat er eine neue zweckmäßige Form zu geben gewußt.

Er hat Leidner Flaschen von außergewöhnlicher Schlagweite construirt, welche an einer anderen Stelle näher besprochen werden sollen.

Daß es ihm gelungen ist, auf eine Entfernung von 15600 Fuß mit Reibungselectricität zu telegraphiren und Pulver anzuzünden, beweist, wie sicher er mit seinen Apparaten experimentiren kann.

Ich habe mich in Wien selbst von der großen Wirksamkeit der Maschinen überzeugt, welche Herr Winter construirt. Mit der größten Bereitwilligkeit hat er mich auf meine Bitte, durch seine Mittheilungen in

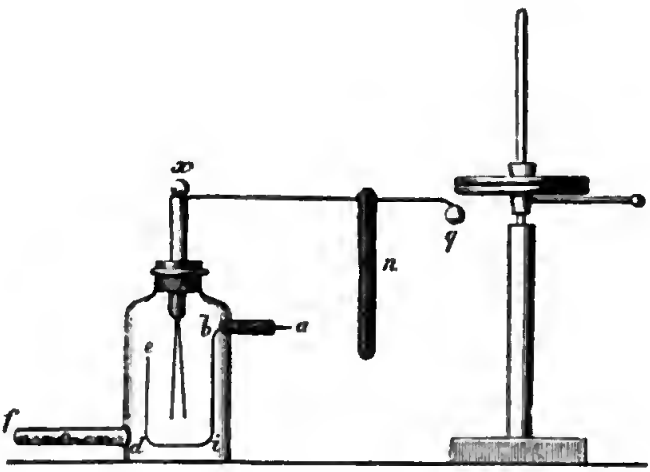
den Stand geſetzt, obige Beſchreibung ſeiner Elektriſirmaſchinen publiciren zu können.

Grüel in Berlin verfertigt Cylindermaſchinen von eigenthümlicher Conſtruction, die ſehr wirkſam ſeyn ſollen, doch iſt mir aus eigener Anſchauung über ihre Wirkſamkeit nichts bekannt, und Grüel's Preisverzeichniß giebt darüber keine Auskunft.

12 **Verbeſſerungen am Goldblattelektroſcop.** An dem Goldblattelektroſcop hat Andrieſſen eine Einrichtung angebracht, durch welche ſeine Empfindlichkeit und ſomit auch ſeine Brauchbarkeit ſehr erhöht wird (P. A. LXII. 493).

Das Glasgefäß, in welchem die Goldblättchen hängen, iſt ungefähr in der Höhe des Aufhängepunktes der Pendel durchbohrt und durch dieſe Oeffnung ein glatter Meſſingdraht *a b i d e* von ½ bis ¾ Linien Durchmeſſer eingeſteckt und gehörig iſolirt befeſtigt, der ſo gebogen iſt, wie man es Fig. 10 ſieht. Die Ebene, welche der Draht bildet, muß mit der

Fig. 10.



Bewegungsebene der Pendel zuſammenfallen, ſo alſo, daß wenn die Pendel divergiren, das eine gegen *b i*, das andere gegen *e d* ſich bewegt.

Die horizontale Entfernung von *b i* zu *d e* iſt am paſſendſten 1¼ Zoll, die Länge der Goldblättchen 2″, ihre Breite möglichſt gering, etwa 1‴. Die Entfernung ihres unteren Endes vom horizontalen Drahtſtück *d i* ½ Zoll.

Theilt man dem Drahte Elektricität mit, z. B. die negative Elektricität eines auf Tuch geriebenen glatten Korkſcheibchens, ſo divergiren die Blättchen, weil der Draht vertheilend wirkt und die $+E$ in die Pendel herabzieht, während die abgeſtoßene $-E$ in die Kugel *x* zurückgetrieben

wird. Die Divergenz der Blättchen nimmt noch etwas zu, wenn man den Knopf x ableitend berührt.

So iſt nun der Apparat vorgerichtet, um die geringſte Elektricitätsmenge noch anzeigen zu können; wird dem Knopfe x nur eine ſehr geringe Elektricitätsmenge mitgetheilt, ſo werden die Blättchen je nach der Natur der mitgetheilten Elektricität entweder noch weiter divergiren oder zuſammenfallen; ſie fallen zuſammen, wenn man dem iſolirten pendeltragenden Syſtem — E mittheilt, ſie gehen weiter auseinander, wenn ihm + E mitgetheilt wird.

Der Apparat iſt empfindlich genug, um für den Volta'ſchen Fundamentalverſuch ohne Condenſator zu dienen.

Schraubt man ſtatt der Kugel x eine Zinkplatte auf, deren obere Fläche mit Bimſteinpulver friſch abgerieben worden iſt, ſetzt man auf dieſe eine ebenfalls gehörig präparirte Kupferplatte, ſo werden beim Aufheben der Kupferplatte die Pendel noch weiter auseinander gehen.

War umgekehrt die Kupferplatte aufgeſchraubt, ſo werden die Pendel beim Aufheben der Zinkplatte zuſammenfallen.

Andrieſſen macht die Bemerkung, daß ihm bei Anwendung eines Glockenelektroſcops von gewöhnlichen Dimenſionen, auch bei Anwendung des Inductionsdrahtes, die Verſuche nie ſo gut gelangen, wie mit engen Gläſern; er nimmt deshalb zu ſeinen Verſuchen gewöhnliche Gläſer mit eingeriebenem Stöpſel, 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll weit und etwa 4″ Zoll hoch. Eine Erklärung dieſer Erfahrung weiß er nicht zu geben.

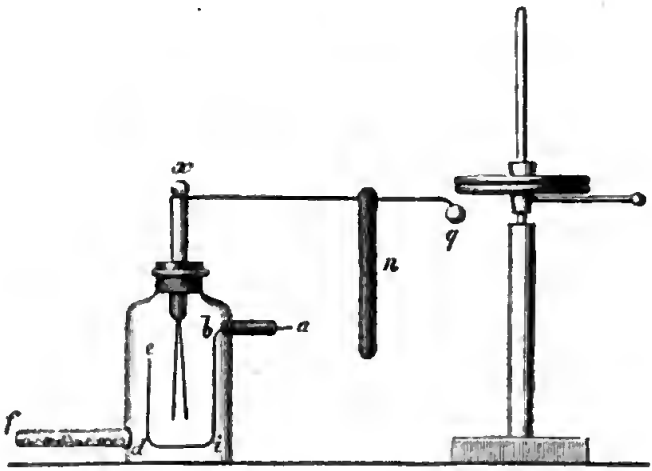
Von großer Wichtigkeit für das Gelingen der Verſuche iſt es, daß die Luft im Innern des Glasgefäßes vollkommen trocken ſey; um dies zu erreichen, hat Andrieſſen an einer paſſenden Stelle des Gefäßes ein zweites Loch eingebohrt, und an dieſes ein mit Chlorcalcium gefülltes Glasröhrchen f angekittet. — Wenn aber ſonſt überall die Oeffnungen wohl verkittet ſind, ſo mögte es wohl genügen, wenn nur ein Stückchen Chlorcalcium im Gefäß ſelbſt liegt.

Die Combination dieſes Apparats mit dem Condenſator führte zu eigenthümlichen Schwierigkeiten; iſt nämlich ſtatt der Kugel x eine Collectorplatte aufgeſchraubt und die Condenſatorplatte aufgeſetzt, ſo wird bei ableitender Berührung der Condenſatorplatte die Elektricität der Goldblättchen großentheils in die Collectorplatte heraufgezogen, ſo daß alſo die Pendel wieder weiter auseinander gehen, ſobald die Condenſatorplatte aufgehoben wird, wenn man auch der Collectorplatte nicht die mindeſte Elektricität mitgetheilt hat.

Dieſer Umſtand macht die Anwendung des Condenſators in der gewöhnlichen Weiſe durchaus unſicher. Andrieſſen vermied dieſe Schwierigkeit in folgender Weiſe.

Der Condenſator iſt nämlich nicht auf, ſondern neben dem Elektroſcop angebracht. Eine auf einem Brett befeſtigte innen und außen mit Schellack bekleidete Glasröhre trägt die Collectorplatte, wie man es Fig. 11 ſieht.

Fig. 11.



Iſt auf der Collectorplatte die Elektricität verdichtet, welche man nachweiſen will, ſo wird die Condenſatorplatte aufgehoben und dann die Collectorplatte, deren Elektricität jetzt frei iſt, mittelſt des Drahtes $x\,q$ mit dem Elektroſcop in Verbindung gebracht.

Dieſer Draht iſt ein weicher Kupferdraht, welcher unter der Kugel x um den Draht gewunden iſt, der die Pendel trägt; n iſt ein Schellackſtäbchen, welches an dem Drahte befeſtigt iſt, mittelſt deſſen man das freie Ende q des Drahtes heben kann, um es mit der Collectorplatte in Berührung zu bringen.

13 **Verbeſſerungen an der Coulomb'ſchen Drehwage.** Nach Coulomb iſt die elektriſche Torſionswage nur von Wenigen benutzt worden, und zwar mit geringem Erfolge; es entſtanden Klagen über die Unzuverläſſigkeit des Inſtruments und über die ſchwierige Handhabung deſſelben; es verbreitete ſich die Anſicht, daß es eines ganz ungewöhnlich geſchickten Experimentators bedürfe, um brauchbare Reſultate mit der Drehwage zu erhalten.

Rieß bekämpft dieſe Vorurtheile (P. A. LXXI. 359), er hat viel mit der Drehwage experimentirt und verſichert, daß, wenn man nur auf die Conſtruction des Inſtruments die nöthige Sorgfalt verwendet habe, daß alsdann ſeine Angaben nicht allein zuverläſſig ſeyen, ſondern daß auch die Anwendung deſſelben keineswegs eine beſonders ausgezeichnete Beobachtungsgabe erfordere. Das Inſtrument, welches Rieß in dem citirten Aufſatze beſchreibt, hat die Dimenſionen der kleinſten Wage, die Cou-

lomb zu seinen Messungen gebraucht hat. Der untere Glascylinder hat 1 Fuß Durchmesser und 1 Fuß Höhe, die Röhre, in welcher der Metallfaden herabhängt, ist 15 Zoll lang. Die Rieß'sche Drehwage ist vollkommen nach dem Princip der Coulomb'schen construirt, nur sind noch einige Vorrichtungen angebracht, welche eine größere Genauigkeit der Beobachtung möglich machen; so wird die Stellung des beweglichen Armes mit dem Mikroscop beobachtet. — Um noch die feinsten Veränderungen in der Drehung des Metallfadens bewerkstelligen zu können, ist am Kopf des Apparates eine Mikrometerschraube angebracht, die sich mittelst eines herabgehenden Stabes drehen läßt, während man durch das Mikroscop die Stellung des beweglichen Balkens beobachtet. Auf diese Weise ist die genaueste Einstellung möglich. (Es wäre für den Mechaniker, der etwa ein solches Instrument machen soll, zu wünschen gewesen, daß von dem Kopf des Apparates auch ein Durchschnitt mitgetheilt worden wäre.)

Ist nun bei dieser Einrichtung möglichste Sorgfalt auf die Construction aller einzelnen Theile, namentlich aber auch darauf, daß der bewegliche Balken sowohl wie die Träger der in den Apparat einzubringenden Prüfungsscheibchen oder Kugeln möglichst vollkommen isoliren, so läßt sich eine große Genauigkeit der Messungen wohl erwarten; da jedoch die Drehwage ein Apparat ist, der sich zu Vorlesungsversuchen durchaus nicht eignet, ihr Princip aber hinlänglich bekannt ist, hat die detaillirtere Beschreibung des Instrumentes nicht für einen größeren Kreis, sondern nur für diejenigen ein Interesse, die sich selbst mit Messungen elektrischer Dichtigkeiten praktisch beschäftigen. Ich halte deshalb ein weiteres Eingehen in diesen Gegenstand nicht für nöthig.

In Beziehung auf Beobachtungsmethode und Berechnung der Resultate ist noch einiges aus der Abhandlung von Rieß anzuführen.

Um das Verhältniß zweier elektrischer Dichtigkeiten zu a und b zu bestimmen, die gleichzeitig an zwei Stellen eines Leiters oder auf zwei Leitern vorhanden sind, macht Coulomb eine ganze Reihe von Messungen (gewöhnlich 5), abwechselnd für die eine und für die andere Stelle und zwar in möglichst gleichen Zwischenräumen. Auf diese Weise erhält er für die erste Stelle drei Dichtigkeiten (durch Torsionswinkel bei gleicher Elongation des Wagbalkens gemessen) a, a' und a''; und 2 Werthe für die Dichtigkeit an der andern Stelle, nämlich b und b'. Die Messung von b liegt der Zeit nach in der Mitte zwischen a und a'; ferner liegt a' der Zeit nach in der Mitte zwischen b und b', es läßt sich also das Mittel zwischen a und a' als nahezu gleichzeitig vergleichen mit b; das Mittel zwischen b und b' mit a' u. s. w. Das gesuchte Verhältniß der beiden Dichtigkeiten ist also ausgedrückt durch $\frac{\frac{1}{2}(a+a')}{b}$ oder durch $\frac{a'}{\frac{1}{2}(b+b')}$

oder durch $\frac{1/2(a' + a'')}{b'}$. Das Mittel aus dieſen drei Werthen wird dann für das wahre Verhältniß $\frac{a}{b}$ der beiden Dichtigkeiten genommen. Dieſe Methode erfordert große Geſchicklichkeit, denn es iſt nicht leicht, immer in gleichen Zwiſchenräumen abwechſelnd eine Meſſung der elektriſchen Dichtigkeit der einen und dann wieder der andern Stelle zu machen; ferner kann ſie keine richtigen Reſultate geben, wenn die beiden zu unterſuchenden Stellen auf zwei verſchiedenen Körpern liegen, von denen einer ſeine Elektricität raſcher verliert als der andere, denn alsdann ändert ſich das Verhältniß der beiden Dichtigkeiten von einem Moment zum andern, die drei Quotienten ſind demnach durchaus nicht drei Werthe derſelben Größe, welche nur in Folge der unvermeidlichen Beobachtungsfehler verſchieden ſind, ſondern drei weſentlich verſchiedene Größen, das Mittel aus den Werthen der drei Quotienten giebt uns alſo durchaus nicht das wahre Verhältniß der beiden elektriſchen Dichtigkeiten in einem beſtimmten Moment.

Endlich iſt dieſe Methode in ſolchen Fällen gar nicht anwendbar, in welchen man dieſelbe Dichtigkeit nicht zweimal beſtimmen kann, wo das Auftreten der Dichtigkeit b es erfordert, daß die Dichtigkeit a nicht mehr vorhanden ſey und ein Zurückgehen auf a nicht mehr möglich iſt.

Rieß bringt nun folgende Beobachtungsmethode mit Erfolg in Anwendung. Mit zwei Prüfungskugeln, welche vollkommen gleich ſind, und deren Stiele gleich gut iſoliren, werden die beiden elektriſchen Stellen gleichzeitig oder doch ſo raſch nach einander berührt, daß man die Berührung als gleichzeitig betrachten kann. Die eine Prüfungskugel wird nun in eine weite Glasglocke, die andere in die Torſionswage gebracht. — Nachdem die Meſſung der Torſion für die erſte eingebrachte Prüfungskugel vollendet iſt, wird nun dieſe entfernt und die zweite, einſtweilen in der Glasglocke aufbewahrte Prüfungskugel in die Drehwage gebracht, die entſprechende Torſion (bei gleicher Elongation) gemeſſen. Die Momente der beiden Einſtellungen werden an einer Sekundenuhr bemerkt. Nun wird die Torſion um einige Grade vermindert, wodurch natürlich die Elongation etwas wächſt, und beobachtet, wie lange es dauert, bis der Wagbalken wieder an ſeiner frühern Stelle einſteht.

Ein Beiſpiel mag dieſe Beobachtungsweiſe erläutern. Man habe mit den beiden Prüfungskugeln I und II die Stellen berührt, deren elektriſche Dichtigkeit man vergleichen will.

I in die Torſionswage gebracht, erfordert eine Torſion von 55,5°, damit der Wagbalken eine beſtimmte Stellung einnimmt, alſo um eine beſtimmte Gradzahl abgelenkt iſt.

Nun wird II in die Drehwage gebracht. Damit der Wagbalken genau

dieſelbe Ablenkung erhalte, alſo genau wieder an derſelben Stelle ſtehe, wie vorher, muß man nun dem Faden eine Torſion von 293,5° geben.

Zwiſchen der erſten und zweiten Einſtellung iſt eine Zeit von 3,1 Minuten verfloſſen.

Nun wird die Torſion um 20°, alſo auf 273,5° vermindert, und es dauert, von der zweiten Einſtellung an gerechnet, 3,2 Minuten, bis der Wagbalken wieder an ſeiner alten Stelle ankommt.

Gehn wir nun zur Berechnung dieſer Reſultate über. — In 3,2 Minuten hat die Prüfungskugel Nro. II eine Elektricitätsmenge verloren, welche durch eine Torſion von 20° gemeſſen wird; wäre nun der elektriſche Verluſt nur der Zeit proportional, ſo würde der Elektricitätsverluſt der Kugel II zwiſchen der erſten und zweiten Einſtellung $\frac{3,1}{3,2}.20 = 19,4°$ betragen, der elektriſche Verluſt iſt aber nicht allein der Zeit, ſondern auch der elektriſchen Dichtigkeit proportional, die in den beiden Zeitabſchnitten nicht gleich iſt. Ohne merklichen Fehler kann man annehmen, daß ſich die elektriſche Dichtigkeit auf der Kugel II in dem erſten Zeitabſchnitte zu der im zweiten verhält wie 293,5 zu 273,5; demnach wäre alſo der elektriſche Verluſt der Kugel II in dem erſten Zeitabſchnitte (d. h. zwiſchen der erſten und zweiten Beobachtung) $19,4 . \frac{293,5}{273,5} = 20,8°$. In dem Augenblicke, in welchem die elektriſche Ladung der Prüfungskugel I in der Torſionswage gemeſſen wurde, war alſo die elektriſche Ladung der Prüfungskugel II gleich $293,5 + 20,8 = 314,3°$. Das geſuchte Verhältniß der beiden Elektricitätsmengen iſt alſo $\frac{55,5}{314,3} = 0,179$.

Bezeichnen wir mit a die erſte gemeſſene Torſion, mit b die zweite, mit c die Anzahl Grade, um welche man nach der zweiten Meſſung die Torſion vermindert hat; ferner mit t und t' die beiden Zeitintervallen, ſo iſt die Dichtigkeit der Elektricität auf der Kugel II in dem Moment, in welchem die Torſion a gemeſſen wurde, gleich

$$b + c . \frac{t . b}{t' (b - c)} \qquad \ldots . (1)$$

Es ſey z. B. $a = 67°$
$b = 369°$
$c = 20°$
$t = 3,7'$
$t' = 2,5'$

ſo iſt alſo in dem Moment, in welchem die Dichtigkeit a gemeſſen wird, die elektriſche Dichtigkeit auf der andern Prüfungskugel

$$369 + 20 \cdot \frac{3,7}{2,5} \cdot \frac{369}{349} = 369 + 31,3^0 = 400,3$$

und das geſuchte Verhältniß der beiden Dichtigkeiten

$$\frac{67}{400,3} = 0,167.$$

Rieß berechnet die Reſultate dieſer Beobachtungsmethode »mit gepaarten Prüfungskörpern« nicht nach der Formel (1), welche allerdings nur eine Näherungsformel iſt, ſondern nach einer andern Näherungsformel, deren Ableitung aber keineswegs elementar und überſichtlich genannt werden kann. Die Reſultate der Rechnung nach Formel (1) ſtimmen jedoch ſo ſehr mit den Rieß'ſchen Rechnungsreſultaten überein, daß die Anwendung der Formel (1) wohl keinen Anſtand haben wird.

Für das erſte der obigen beiden Beiſpiele z. B. ſtimmen die Rechnungsreſultate nach beiden Formeln vollkommen überein, bei dem zweiten Beiſpiele ergiebt ſich nach Rieß der Werth 400,8°, wo wir 400,3° gefunden hatten, was auf den geſuchten Quotienten gar keinen Einfluß hat.

14 **Elektroſcope, in welchen das Princip der Drehwage in Anwendung gebracht iſt.** Im LIIIten Bande von Poggendorf's Annalen findet ſich die Beſchreibung von zwei Elektrometern oder vielmehr Elektroſcopen, welche man gewiſſermaßen als kleine Drehwagen betrachten kann; das erſtere von Dellmann (Seite 606), das letztere von Oerſted (Seite 612).

Fig. 12.

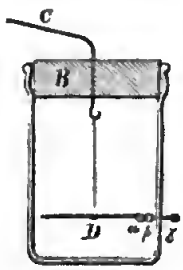


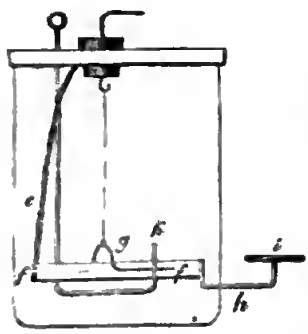
Fig. 12 ſtellt das Dellmann'ſche Inſtrument dar. Die Oeffnung eines weißen Einmachglaſes von 8 bis 10 Zoll Höhe iſt oben mit einem Korkſtück B verſchloſſen. Durch dieſes Korkſtück iſt ein ziemlich ſteifer Draht C geſteckt, welcher unten in ein Häkchen endet, in dem ein Coconfaden hängt. Der Coconfaden trägt ein Schellackſtäbchen D, an deſſen einem Ende ein kleines Hollundermarkkügelchen α befeſtigt iſt (durch Drücken mit reinen Fingern kann man ihm leicht alle Ecken nehmen).

Bei α iſt das Glas durchbohrt und in das Loch eine Stecknadel $\beta\gamma$ mit Schellack befeſtigt, und zwar mit dem Knopfe γ nach außen; inwendig ſteckt auf der Spitze der Nadel das Hollundermarkkügelchen β, ſo daß aber die Spitze nicht aus dem Kügelchen hervorragt. Man ſchiebt nun ſo lange an dem Drahte C auf und ab, bis α und β ſich in gleicher Höhe befinden; darauf dreht man dann den Draht C um ſeine Axe ein oder ein Paar Mal um, ſo daß das Kügelchen α ſich vermöge der Elaſticität des Conconfadens dicht an das Kügelchen β anlegt.

Dellmann hat ſpäter die Conſtruction ſeines Inſtrumentes noch ver-

ändert und es dadurch noch weit empfindlicher gemacht. Fig. 13 ſtellt das

Fig. 13.



Dellmann'ſche Elektroſcop in ſeiner neueren Geſtalt dar (P. A. LVIII. 49). Der drehbare Hebel *g* beſteht aus einem leichten Metalldrahte, welcher in der Mitte ſo gebogen iſt, daß ſich die eine Hälfte des Wagbalkens auf die rechte, die andere Hälfte auf der linken Seite des Metallſtreifchens *f* anlegen kann. Dieſes Streifchen *f*, durch die Mitte des Apparates ausgeſpannt, iſt einerſeits an dem Zuleitungsdrahte *h*, andrerſeits an dem Drahte *e* befeſtigt.

Theilt man den Zuleitungsdraht (auf den man eine Platte, etwa eine Condenſatorplatte, aufſchrauben kann) Elektricität mit, ſo wird dieſe zum Theil auf den durch die Torſion des Fadens an dem Streifchen *f* angelegten Wagbalken *g* übergehn und dieſer alſo abgeſtoßen werden. —

Der eine vertikale Arm des Drahtes *k*, deſſen horizontales Stück einen Winkel von nahezu 90° mit der Richtung des Streifchens *f* macht, befindet ſich auf der rechten, der andere vertikale Arm auf der linken Seite des beweglichen Hebels. Dellmann nennt dieſen Draht, dem man von oben her Elektricität mittheilen kann, und deſſen Function dieſelbe iſt, wie die des Drahtes im Elektrometer von Andrieſſen, den Querdraht. Wird dem Querdraht Elektricität mitgetheilt, ſo dreht ſich alsbald der bewegliche Hebel *g* und bleibt in einer neuen Gleichgewichtslage ſtehen. Er bewegt ſich aber nach der einen oder nach der andern Seite, je nachdem man den Zuleitungsdraht *h* Elektricität der einen oder andern Art mittheilt. Es iſt begreiflich, daß der Apparat in dieſer Geſtalt außerordentlich empfindlich ſeyn muß; jedoch iſt es ſehr läſtig, daß der am Coconfaden hängende Wagbalken durch das geringſte Anſtoßen ſchon in Schwankungen geräth.

Der angeführte Aufſatz in Poggendorff's Annalen, in welchem Dellmann die neuere Form ſeines Elektroſcops beſpricht, iſt etwas confus geſchrieben. Eine eigentliche Beſchreibung des Apparates, eine Angabe, wie er anzuwenden iſt, findet ſich nicht; es wird von den zweckmäßigſten Dimenſionen des Streifchens, von der beſten Stellung des Querdrahts geſprochen, ohne daß Querdraht und Streifchen vorher irgendwie eingeführt worden wären. Offenbar ſetzt Dellmann hier ſchon vieles als bekannt voraus, was es wenigſtens für die Mehrzahl der Leſer nicht iſt. —

Die Art und Weiſe, wie das Streifchen *f* hier befeſtigt wird, iſt offenbar etwas ungeſchickt. Romershauſen hat dieß ſehr zweckmäßig abgeändert. Der Wagebalken aus unächtem Goldlahn bleibt gerade, dagegen iſt der Metallſtreifen *f* in der Mitte mit einem Bogen verſehen, wie man

Fig. 14.

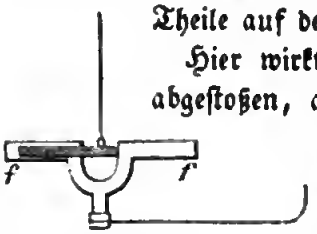
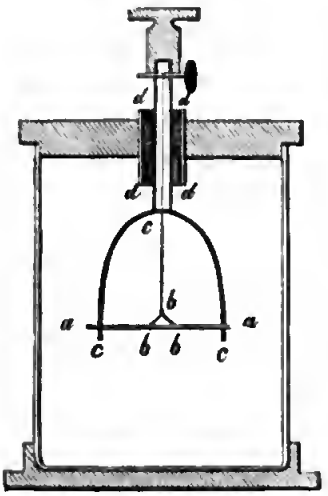


Fig. 14 ſieht. Der Metallſtreifen iſt mit ſeinem mittleren Theile auf dem Zuleitungsdrahte befeſtigt.

Hier wirkt die Kraft, mit welcher der bewegliche Balken abgeſtoßen, alſo um ſeine Axe gedreht wird, der Torſion des Coconfadens entgegen; beim Oerſted'ſchen Elektrometer iſt es dagegen der Magnetismus eines kleinen Eiſendrahtes, welcher den Balken in einer beſtimmten Stellung zu erhalten ſtrebt.

Das Weſentliche der Oerſted'ſchen Conſtruction iſt aus Fig. 15 ($^1/_2$ der natürlichen Größe) erſichtlich. Im Deckel eines Glasgefäßes ſteckt eine Glasröhre *d d*, in welcher durch Schellack gehörig iſolirt eine Metallröhre befeſtigt iſt, die unten in zwei gebogene Arme *c c* ausläuft. In der Mitte dieſes Röhrchens hängt der Coconfaden herab, welcher den beweglichen Stab *a a* trägt, der aus einem dünnen Meſſingdrahte beſteht. *b b* iſt ein Bügel von ſehr dünnem Eiſendraht, der einen ſehr ſchwachen Magnetismus haben muß, durch welchen der Balken ſo gegen die Meſſingarme *c c* angelegt wird, daß das eine Ende von *c c* die linke, das andere Ende die rechte Seite des Stäbchens *a a* berührt. Indem der Metallbogen *c c* von oben her Elektricität empfängt, geht dieſe zugleich auf den Wagbalken *a a* über, und erzeugt eine Drehung deſſelben. Wenn die magnetiſche Richtkraft des Eiſenbügels ſehr gering iſt, ſo zeigt das Elektrometer ſehr große Empfindlichkeit. Um ſchwache elektriſche Wirkungen zu entdecken, theilt man dem Inſtrumente zuerſt etwas Elektricität mit, durch welche der Balken um einige Grade gedreht wird. Ein Körper, welcher dieſelbe Art von Elektricität beſitzt, bringt dann, wenn er genähert wird, eine bedeutende Vergrößerung der Abweichung hervor. Die Elektricität, welche iſolirte Zink- und Kupferplatten nach der Berührung und Aufhebung zeigen, wird auf dieſe Weiſe ohne Hülfe des Condenſators ſehr wahrnehmbar. — Auch mit dem Dellmann'ſchen Inſtrumente läßt ſich der Volta'ſche Fundamentalverſuch ohne Condenſator anſtellen.

Fig. 15.



Oerſted hat an ſeinem Inſtrumente noch eine Theilung angebracht, um den Ablenkungswinkel zu meſſen, ein Mikroſcop, um die Stellung des Balkens beſſer zu beobachten u. ſ. w. Ich habe dies weggelaſſen, weil es hier nur darauf ankommt, das Princip des Inſtruments verſtändlich zu machen. Oerſted ſelbſt hat das Inſtrument nur als Elektroſcop angewendet.

Kohlrauſch hat das Dellmann'ſche Elektroſcop in ein Elektrometer verwandelt. (P. A. LXXII. 353). Er brachte unter dem drehbaren Hebel einen Theilkreis an, um die Ablenkungswinkel ableſen und einen zweiten oben an dem Aufhängring des Fadens, um die Torſion deſſelben beſtimmen zu können. Statt des Coconfadens wandte er einen feinen Glasfaden an, weil deſſen Torſionskraft zuverläſſiger iſt.

Dellmann's Inſtrument hatte den großen Vorzug, mit wenig Mitteln herſtellbar zu ſeyn, ſo daß jeder, der nur einige Geſchicklichkeit hat, ſich ein ſolches Inſtrument machen kann. Dieſen Vorzug des Dellmann'ſchen Elektroſcops hat Kohlrauſch ganz und gar aufgegeben, denn das von ihm angegebene Inſtrument kann nur durch die Hand eines geſchickten Mechanikers hergeſtellt werden. Dagegen iſt nun freilich nichts einzuwenden, wenn der Apparat in dieſer Form Vortheile gewährt, welche ſich auf einfachere Weiſe nicht erreichen laſſen. — Nach Kohlrauſch's Angaben ſoll ſein Elektrometer zu genauen Meſſungen noch in Fällen dienen, für welche die Coulomb'ſche Drehwage ſchon zu unempfindlich iſt. Ein beſtimmtes Urtheil über den Werth des Elektrometers von Kohlrauſch kann ich ſchon deshalb nicht abgeben, weil ich mit demſelben nicht experimentirt habe, ich kann nicht behaupten, ob die Leiſtungen deſſelben mit dem Aufwande im Verhältniß ſtehen, welcher auf ſeine Herſtellung verwendet werden muß. Mir ſcheint das Inſtrument allerdings etwas zu complicirt. Ob dieſe Anſicht gegründet iſt, muß ich dem Urtheile derjenigen überlaſſen, die mit dieſem Apparate praktiſch gearbeitet haben. Die Reſultate, welche Kohlrauſch in ſeiner Abhandlung anführt, ſprechen allerdings ſehr zu Gunſten ſeines Inſtrumentes.

Bei allen elektroſtatiſchen Meſſungen iſt wohl gewiß die bedeutendſte Fehlerquelle ein allmäliger Verluſt an elektriſcher Ladung in der vertheilenden Wirkung, welche der geladene Körper auf benachbarte ausübt u. ſ. w., zu ſuchen. Die Unſicherheiten, welche aus dieſen Quellen entſpringen, ſind gewiß weit größer, als die Beobachtungsfehler, welche man beim Einſtellen und Ableſen begeht. Von dieſem Geſichtspunkte erſcheint es überflüſſig, an Elektrometern aller Art einen großen Aufwand auf Theilungen, Mikroſcope u. ſ. w. zu verwenden.

In der erwähnten Abhandlung ſpricht Kohlrauſch den ſehr guten Gedanken aus, die elektroſcopiſche Kraft der Volta'ſchen Säule zu einem brauchbaren Maaße für Reibungselektricität, oder vielmehr zur Vergleichung verſchiedener Elektrometer zu benutzen.

Eine Säule von einer beſtimmten Anzahl von Elementen, welche aus zuſammengelötheten Streifen von Zink und Kupfer beſteht, die in Gläschen mit deſtillirtem Waſſer eintauchen, wird, wenn der eine Pol vollkommen abgeleitet iſt, am andern ſtets dieſelbe Spannung beſitzen, alſo ſehr

wohl zur Vergleichung verſchiedener Elektrometer dienen können. Bei längerer (über eine Woche dauernder) Eintauchung nimmt die Spannung allerdings ab, weil ſich das Zink mit Oxydul überzieht, man erhält aber die urſprüngliche Spannung wieder, wenn man nur mit einem Feilſtrich das Metall wieder bloslegt.

Kohlrauſch erhielt von dem Pole einer ſolchen Säule an ſeinem Inſtrumente während einer ganzen Woche ſtets den Ausſchlag von 52 bis 53 Graden; nach 4 Wochen war der Ausſchlag auf 46° gefallen, erreichte aber alsbald die urſprüngliche Größe, als das Metall wieder durch Feilſtriche gereinigt wurde.

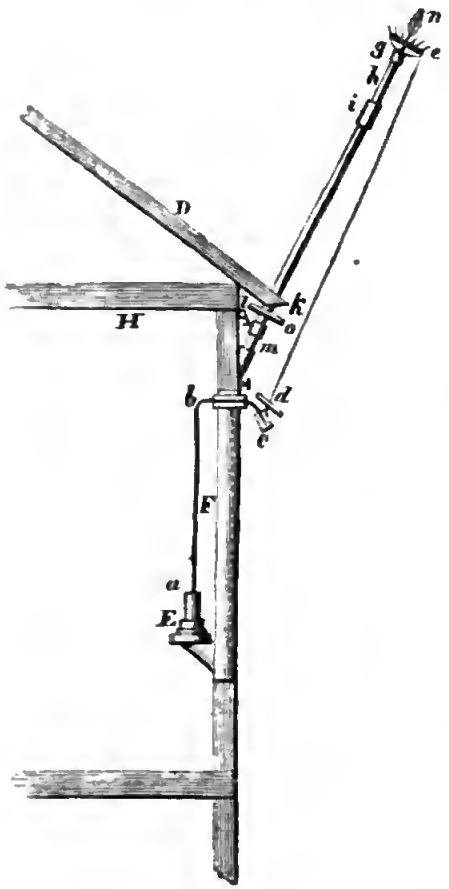
15 **Petrina's Elektroſcop.** Petrina hat ein Elektroſcop conſtruirt, in welchem er die trockne Säule durch ein Elektrophor erſetzt. (Neue Theorie des Elektrophors und ein neues Harzkuchen-Elektroſcop von Dr. Franz Petrina, aus den Abhandlungen der königl. Böhmiſchen Geſellſchaft der Wiſſenſchaften. V. Folge, Bd. 4, beſonders abgedruckt. Prag 1846.) Das Goldblättchen hängt zwiſchen zwei Metallſcheibchen, von denen das eine mit dem Deckel, das andere mit der iſolirten Form eines kleinen Harzkuchen-Elektrophors in leitender Verbindung ſteht; durch eine beſondere Vorrichtung kann die Form mit dem Kuchen geſenkt werden, wodurch dann das eine Scheibchen (das mit dem Deckel verbundene) eine poſitive, das andere eine negative Ladung erhält, ſo daß die beiden Scheibchen hier dieſelbe Rolle ſpielen, wie die Polplatten der trocknen Säule im Bohnenberger'ſchen Elektrometer.

Es iſt dies in der That eine recht ſinnreiche Anwendung des Elektrophors und, wenn wir das Säulen-Electrometer nicht beſäßen, ſo würden wir das Harzkuchen-Elektroſcop als eine wichtige Bereicherung des elektriſchen Apparates begrüßen; ob aber dies Inſtrument neben dem Säulen-Elektrometer eine praktiſche Bedeutung erlangen wird, möchte ich ſehr bezweifeln. Petrina meint zwar, es ſey leichter zu conſtruiren, weil es leichter iſt, einen guten Harzkuchen zu verfertigen, als eine gute Zamboniſche Säule, allein die Vorrichtung zum Heben und Senken des Tellers ſammt Harzkuchen mag wohl den Unterſchied wieder ausgleichen. Der einzige reelle Vortheil des Petrina'ſchen Apparates dürfte wohl nur der ſeyn, daß er nie durch Kraftverluſt unbrauchbar werden kann, weil der Kuchen, wenn er ſchwach werden ſollte, immer wieder elektriſch gemacht werden kann.

Was den übrigen Inhalt der Abhandlung von Petrina betrifft, ſo müßte er an einer andern Stelle beſprochen werden, ich werde jedoch nicht weiter darauf zurückkommen, weil es ſich hier nicht um neue Thatſachen handelt, ſondern um Anſichten, deren Richtigkeit noch ſehr problematiſch iſt.

16 **Beobachtung der atmoſphäriſchen Elektricität.** Romershauſen hat einen Apparat zur Beobachtung der atmoſphäriſchen Electricität

Fig. 16.



conſtruirt, deſſen Einrichtung aus Fig. 16 erſichtlich iſt. (P. A. LXIX, 71).

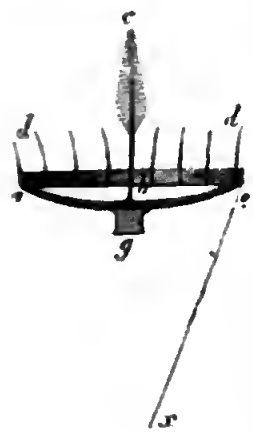
Fig. 16 zeigt die Anbringung der Auffangvorrichtung an jeder beliebigen Wohnung und für jedes Stockwerk derſelben.

H das Haus, deſſen Dach *D* ohne Nachtheil die Auffangsvorrichtung überragen kann. *F* irgend ein Fenſter des Wohnzimmers eines Beobachters.

m n die Auffangſtange in gewöhnlicher Conſtruction. Sie ruht oberhalb des Fenſters in einem ſtarken eiſernen Schuh *m* und wird, vermittelſt eines einzuhängenden Hakens *l*, in einem Einſchnitt *k* des Daches leicht und ſicher befeſtigt. Sie ragt ſeitwärts vom Haus in das Freie hinaus und hat folgende beſondere Einrichtung.

Die etwa 10 bis 12 Fuß lange Stange von lackirtem Tannenholze, iſt bei *i* mit einer Meſſinghülſe verſehen, in welche der maſſive, mit Schellack überzogene 1½ Fuß lange Glasſtab *h* eingekittet iſt. Dieſer trägt alsdann oberhalb die Auffangsvorrichtung *g n*.

Fig. 17.

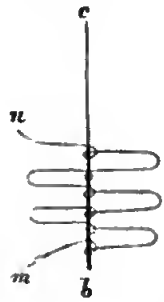


Zu mehrerer Deutlichkeit iſt dieſe Auffangsvorrichtung in Fig. 17 größer und im Durchſchnitt gezeichnet. *a e* iſt ein 5 Zoll im Durchmeſſer haltender flacher Kupferring, an welchen im Innern die kupfernen, galvaniſch vergoldeten und nach oben fein zugeſpitzten Auffangsdrähte *d d* angelöthet ſind, ſo daß ſie, etwas nach Außen gebogen, gleichſam eine Krone bilden. Eine im Durchmeſſer derſelben angebrachte und etwas nach unten gebogene Kupferſchiene trägt unterhalb die Hülſe *g* zur Befeſtigung auf der Glasſtange *h*, und oberhalb iſt eine höhere Drahtſpitze *b c* eingelöthet. Dieſe Drahtſpitze iſt das wichtigſte der ganzen Vorrichtung, da ſie allein,

nach ſicherer Erfahrung, die feinſten Nüancen der atmoſphäriſchen Elektricität bemerklich macht. Ihre Conſtruction iſt folgende.

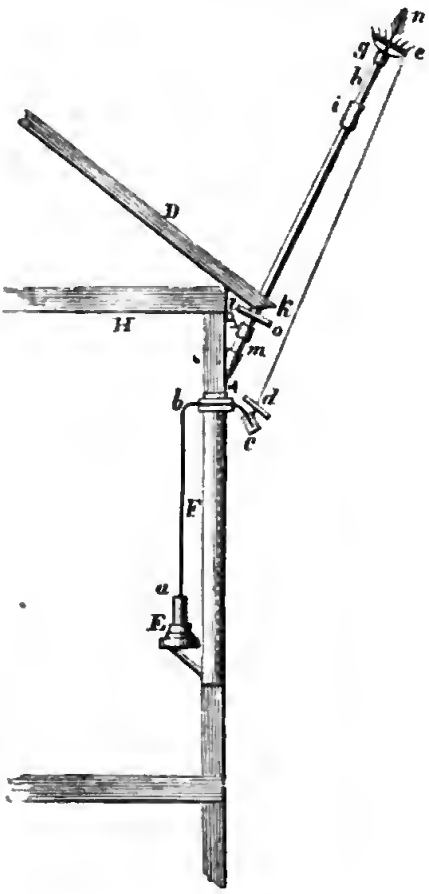
Der oben fein zugeſpitzte und vergoldete, etwa eine Pariſer Linie im Durchmeſſer haltende Kupferdraht iſt ringsum mit den feinſten haarförmigen Platinſpitzen umgeben und wird am leichteſten auf folgende Art verfertigt: Der Draht wird, ſo weit die Platinſpitzen reichen, mit Zinnloth überzogen, alsdann in der Art, wie Fig. 18 verdeutlicht, mit dem feinſten Platindraht umwunden und die Windungen über einer Spirituslampe eingeſchmolzen. Die Schleifen werden alsdann aufgeſchnitten und nach Anſicht der Fig. 17 ringsum geordnet.

Fig. 18.



Der Leitungsdraht *de*, Fig. 19, von Kupfer, wird bei *e* an den Kupferring angelöthet, bei *d* erhält derſelbe ein kleines Dach von Blech, welches den Regen abführt. (Ein gleiches iſt bei *o* an der Stange angebracht.) An den Leitungsdraht *ed* iſt ſodann unten bei *c* eine kleine gut paſſende Kupferhülſe, in angegebener Richtung, zum Einhaken an die aus dem Zimmer kommende Drahtleitung angelöthet. Der Fenſterrahm iſt in der obern Ecke durchbohrt, um den in einer Glasröhre mit Schellack wohl eingekitteten Leitungsdraht zu befeſtigen und vollſtändig iſolirt in das Zimmer zu führen. Bei *b* iſt derſelbe nach *a* herabgebogen und mit dem ſeitwärts vom Fenſter und außer der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenſtrahlen angebrachten Elektrometer *E* verbunden.

Fig. 19.



Romershauſen wendet zwei Elektrometer an, welche auf demſelben Käſtchen ſtehen, nämlich ein Säulen-Elektrometer und ein nach dem Dellmann'ſchen Princip conſtruirtes, deſſen Haupttheil bereits Seite 29 beſprochen wurde.

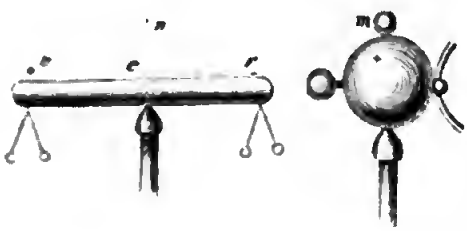
Zweiter Abſchnitt.

Vertheilung und Bindung der Elektricität.

Einleitung. Die Art und Weiſe, wie Biot die Vertheilung der 17
Elektricität auf einem iſolirten Leiter nachgewieſen hat, dem ein elektriſcher Körper genähert wird, könnte wohl genügen, um jeden Zweifel über das Weſen der Vertheilung und Bindung der Elektricität zu heben; dennoch hat ſich über dieſen Gegenſtand, durch Pfaff's Einwendungen veranlaßt, ein Streit erhoben.

Das Geſchichtliche darüber findet ſich im zweiten Bande von Dove's Repertorium Seite 29

Fig. 20.

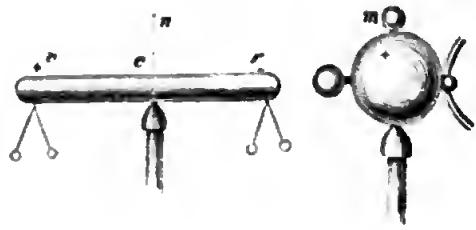


Nähert man einem etwa poſitiv geladenen Körper m, Fig. 20, einen iſolirten Conductor c, ſo wird c bekanntlich durch Vertheilung elektriſch; auf dem gegen m gerichteten Ende findet ſich die angezogene $-E$, am entgegengeſetzten Ende die abgeſtoßene $+E$, wie man dieß durch das Probeſcheibchen nachweiſen kann.

Berührt man den iſolirten Conductor, ſo kann man die abgeſtoßene Elektricität ableiten, während die von m angezogene Elektricität auf c gebunden zurückbleibt.

Pfaff behauptet nun, daß dieſe gebundene Elektricität durchaus nicht nach außen hin wirken könne, während Biot dieſe freie Wirkung dadurch nachgewieſen hatte, daß er an beide Enden des Conductors elektriſche Pendel aufhing, die an dem einen Ende mit der angezogenen, an dem andern Ende mit der abgeſtoßenen Elektricität divergiren. Berührt man den

Fig. 21.

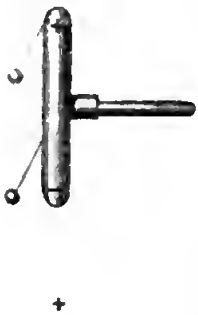


Conductor, ſo fällt das entferntere Pendelpaar zuſammen, während die Bewegung des zunächſt bei *m* hängenden Pendelpaares zunimmt.

Obgleich dieſer Verſuch bei einiger Vorſicht, namentlich wenn *m* nicht zu ſtark geladen iſt, nicht leicht mißlingt, ſo iſt es doch mehreren Beobachtern nicht gelungen, ihn rein darzuſtellen, wodurch wohl der ganze Streit über die Natur der gebundenen Elektricität entſtanden ſeyn mag. Das Mißliche des Verſuchs entſteht, wie Rieß richtig bemerkt, dadurch, daß die Elektricität des vertheilenden Körpers rechtwinklig gegen die elektroſcopiſchen Pendel wirkt und ſie von ihrer perpendiculären Stellung ablenkt.

Rieß hat dieſen Uebelſtand durch folgende Anordnung des Verſuchs vermieden. Ein ungefähr 5 Zoll langer und 3 Linien dicker Metallſtab mit abgerundeten Enden iſt in ſeiner Mitte an einem iſolirenden Handgriff befeſtigt, wie Fig. 22 zeigt, und wird vermittelſt dieſes Handgriffs in vertikaler Stellung gehalten. Oben und unten iſt er mit einer an einem Leinenfaden hängenden Hollundermark-Kugel verſehen.

Fig. 22.



Nähert man von unten her einen elektriſchen Körper, ſo werden beide Kugeln abgeſtoßen. Nehmen wir an, der von unten genäherte Körper ſey + electriſch, ſo divergirt das obere Pendel mit + *E*, das untere mit — *E*, wie ſich leicht durch Annäherung einer geriebenen Glas- oder Siegellackſtange zeigen kann.

Wird nun der Stab ableitend berührt, ſo fällt das obere Pendel zuſammen, während die Divergenz des untern wächſt.

Am untern Ende des Stabes befindet ſich jetzt nur gebundene — *E*, eben ſo in der unteren Kugel; die Elektricität des unteren Stabendes wirkt alſo, obgleich ſie gebunden iſt, abſtoßend auf die gleichnamige gleichfalls gebundene Elektricität der Kugel; die gebundene Elektricität wirkt alſo frei in die Ferne ganz eben ſo, als ob ſie nicht gebunden ſey.

Die Divergenz des unteren Pendels beweiſt, daß ſich die Theilchen der gebundenen Elektricität unter einander gerade eben ſo abſtoßen, wie dies bei der nicht gebundenen Elektricität der Fall iſt, folglich kommt der gebundenen Elektricität das Propagationsvermögen eben ſo zu, wie der freien, und wenn man die gebundene Elektricität durch leitende Verbindung mit

dem Boden nicht abführen kann, so liegt dieß nicht darin, daß die gebundene Elektricität kein Propagationsvermögen hat, sondern darin, daß sie durch die Anziehung der entgegengesetzten Elektricität auf dem vertheilenden und bindenden Körper zurückgehalten wird. Der gebundenen Elektricität das Propagationsvermögen absprechen, heißt ungefähr eben so viel, als wenn man behaupten wollte, ein Stein, der auf dem Boden liegt, habe eben dadurch seine Fähigkeit zu fallen verloren.

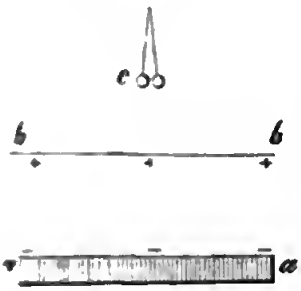
Durch den Rieß'schen Versuch ist nun gegen allen Widerspruch bewiesen, daß die gebundene Elektricität ganz eben so in die Ferne wirkt, als ob sie nicht gebunden wäre. Wenn ein elektrischer Körper *a* die entgegengesetzte Elektricität auf einem mit dem Boden in leitende Verbindung gebrachten Leiter *b* gebunden hat, so wirkt auf irgend einen in der Nähe befindlichen Punkt *c* sowohl die Elektricität von *a* als auch die von *b*, weil aber *a* und *b* mit entgegengesetzter Elektricität geladen sind, so kann in *c* nur die Differenz ihrer Wirkungen beobachtet werden.

Fig. 23.

Nachdem man nun durch den Rieß'schen Versuch die besprochene Frage wohl als abgemacht betrachten konnte, erhebt Knochenhauer abermals neue Bedenken (P. A. XLVII. 444).

Er machte nämlich einen Harzkuchen elektrisch, spannte über ihn in beliebigen Abständen ein Stanniolblatt aus und nahm durch Berührung desselben mit dem Finger die freie negative Elektricität fort. Nähert man diesen Apparat, welcher Fig. 24 schematisch dargestellt ist, von unten zweien an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkügelchen, so zeigt sich auf keinerlei Weise eine Divergenz derselben, welches auch die Entfernung des Pendels von dem durch gebundene $+ E$ geladenen Stanniolblatte seyn mogte.

Fig. 24.



Knochenhauer folgert aus diesem Versuche, daß, wenn zwei entgegengesetzte Elektricitäten sich je nach ihrer Distanz vollständig binden, sie alle Wirkung nach außen verlieren und allein in Beziehung auf einander stehen, denn man könne doch nicht annehmen, daß, falls wirklich die gegenseitig gebundenen Elektricitäten noch frei nach außen wirken könnten, diese Wirkungen sich für alle Punkte über dem Stanniolblatte vollständig neutralisiren würden.

Diese Knochenhauer'schen Einwürfe hat nun Fechner vollständig widerlegt (P. A. LI. 321). Er hat gezeigt, daß man mit Hülfe der

an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkugeln nur deshalb keine elektriſche Wirkung oberhalb der vertheilten Platte nachweiſen kann, weil ſie gegen ſchwache Ladungen zu unempfindlich ſind. Bringt man an die Stelle dieſer Pendel eine Probeplatte, berührt man dieſe für einen Moment ableitend mit dem Finger, ſo zeigt ſich dieſe Probeplatte nachher am Säulen-Elektrometer allerdings elektriſch und zwar gleichnamig mit *bb*, ein Beweis, daß die Wirkung, welche *a a* auf *c* ausübt, die Wirkung der gebundenen Elektricität in *b b* auf *e* überwiegt.

Fechner hat dieſen Verſuch nicht allein in der eben beſprochenen Form, ſondern in mehrfacher Weiſe abgeändert und ſtets mit dem gleichen Erfolge wiederholt. Es wird nicht nöthig ſeyn, alle dieſe einzelnen Verſuchsformen zu beſchreiben, namentlich da wir bei der Beſprechung der Faraday'ſchen Unterſuchungen über elektriſche Vertheilung nochmals auf einige Punkte der Fechner'ſchen Arbeit zurückkommen.

Am Schluſſe des Berichtes über dieſe Verſuche ſagt Fechner:

»Nach den vorſtehenden Verſuchen dürfte man hinreichend berechtigt ſeyn, die anziehenden und abſtoßenden Wirkungen der bindenden und der ſogenannten gebundenen Elektricität aus demſelben Geſichtspunkte zu betrachten, als die freie Elektricität. Die gebundene Elektricität wird dadurch, daß ſie gebunden iſt, durchaus mit keinen neuen Eigenſchaften begabt. Wenn ihre Anziehung und Abſtoßung nicht mehr ſpürbar wird, ſo erklärt ſich dies dadurch, daß ſie von der entgegengeſetzten Wirkung der bindenden Elektricität ſtets im Gleichgewicht gehalten oder überwogen wird u. ſ. w.«

Petrina hat zwar abermals Zweifel gegen die von Fechner gerechtfertigte Anſicht zu erheben geſucht, daß die Spannungselektricität durch einen nicht iſolirten Elektricitätsleiter hindurchwirke (P. A. LXI. 116), ohne jedoch etwas Entſcheidendes vorbringen zu können. Nach ſeiner Anſicht rührt die Elektricität, welche Fechner im elektriſchen Schatten der oberen Metallplatte fand, daher, daß die krumme Oberfläche des cylindriſchen Raumes über der oberen Platte durch Vertheilung elektriſch werde, und daß ſich von da aus die vertheilende Wirkung nach innen verbreitet.

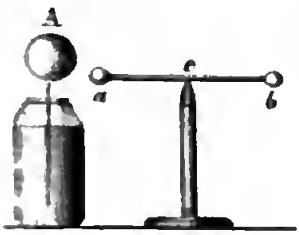
Petrina hat dieſe abentheuerliche Idee weder begründet, noch die ſich aus ihr ergebenden Conſequenzen weiter ausgeführt. Es bleibt dunkel, wie er ſich den Vorgang eigentlich vorſtellt.

Daß die Elektricität einer kräftigen Elektriſirmaſchine durch eine Zimmerwand und eine geſchloſſene Thür hindurch keine merkliche vertheilende Wirkung mehr ausüben kann, darf uns wahrlich nicht befremden, und kann durchaus nicht als Argument gegen die von Fechner vertheidigte Anſicht gelten.

Im weiteren Verlauf der oben besprochenen Fechner'schen Abhandlung beschreibt derselbe Versuche, die er anstellte, um zu ermitteln, wie sich die Elektricität auf einem isolirten vertheilten Körper verbreitet. Die wesentlichsten Resultate dieser Versuche sind folgende.

Eine kleine Leidner Flasche war mit einer Metallkugel *A* (Fig. 25) von 3 Zoll Durchmesser versehen, positiv geladen und isolirt aufgestellt. Der Kugel gegenüber wurde ein messingener Leiter *a c b* isolirt aufgestellt. Dieser Leiter ist cylindrisch, von 5,2 Linien Durchmesser, mit kugelförmigen Knöpfen von 8,3 Linien Durchmesser an den Enden und 16 Zoll Länge. *a* und *A* standen 2 Zoll von einander ab.

Fig. 25.



Wurde der Leiter bei *a* ableitend mit dem Finger berührt, so zeigte ein Probescheibchen stets negative Elektricität, an welcher Stelle des Leiters man es auch anlegen mogte, selbst bei *b* fand sich negative Elektricität, doch mit zunehmender Stärke nach *a* hin. Auch auf den ableitend berührenden Finger oder die Hand gesetzt, nahm die Probescheibe — *E* an.

Wurde nun die Hand zurückgezogen, so daß der Leiter *a b* wieder isolirt war, so gab die größere Hälfte nach *b* zu positive, die kleinere nach *a* zu negative Elektricität an die Prüfungsplatte ab.

Dies Resultat scheint anfangs auffallend, erklärt sich aber sehr leicht durch folgende Betrachtung:

Wenn der Leiter bei *a* ableitend berührt wird, so ist auf der Hand auch von *A* angezogene — *E* angehäuft, die jedenfalls abstoßend auf die in *a* befindliche wirken muß. In *a* halten sich die abstoßende Wirkung der — *E* von der Hand aus und die anziehende Wirkung der + *E* in der Kugel *A* auf die hier vorhandene — *E* das Gleichgewicht, wird also die — *E* auf der Hand entfernt, so kann sich in *a* mehr — *E* anhäufen, ein Theil der neutralen *E* auf *a b* wird noch zersetzt, die — *E* strömt nach *a*, während gegen *b* hin sich die von *A* abgestoßene + *E* ansammeln wird.

Berührt man dagegen den Leiter ableitend bei *b*, so zeigt er seiner ganzen Länge nach — *E*, wachsend von *b* nach *a*, doch bei *b* nur sehr schwach; zieht man den Finger zurück, so zeigt sich auch noch jetzt der ganze Leiter negativ elektrisch, wachsend von *b* nach *a* zu, wie es wohl vorauszusehen ist.

Welche Anordnung der Elektricität auf einem Leiter eintreten müsse, welcher vertheilenden Einflüssen ausgesetzt ist, wurde von Poisson auf rein mathematische Bestimmungen gebracht, die auf nichts fußen, als

auf den bekannten Anziehungs- und Abſtoßungsgeſetzen der Elektricität. Die practiſche Anwendung des Princips ſtößt aber in vielen Fällen auf große Schwierigkeiten, weil es ſich um die Zuſammenſetzung und Zerlegung der Wirkungen von unendlich vielen Punkten handelt. Mit allgemeinen Betrachtungen iſt begreiflicher Weiſe nicht viel auf einem Felde zu erzielen, auf welchem die Ermittelung der Reſultate ſelbſt für den Calcul zu ſchwierig wird. In ſolchen Fällen wird man von der Erfahrung Belehrung ſuchen müſſen.

Wenn ein iſolirter Leiter vertheilt wird, ſo ſieht man es als allgemeine Regel an, daß die der vertheilenden Elektricität ungleichartige, ihr ſelbſt möglichſt nahe, die gleichartige möglichſt fern geht. Inzwiſchen läßt dieſe Regel, ſelbſt wenn man nur einen allgemeinen Anhalt darin ſuchen will, vieles unbeſtimmt.

Fig. 26.

Eine iſolirte leitende Scheibe, $a\,b$ (Fig. 26) ſey der vertheilenden Wirkung einer elektriſirten Kugel c ausgeſetzt. Wie werden ſich die beiden Elektricitäten auf $a\,b$ vertheilen? Sind die Ränder $a\,b$ der vertheilten Scheibe oder iſt die Mitte der Rückſeite d als der entfernteſte Punkt der Scheibe anzuſehen? Hat man, wenn c poſitiv iſt, in d poſitive oder negative Elektrität zu erwarten?

Fechner ſtellt eine Reihe von Verſuchen an, eine dieſer Fragen zu beantworten. Die angezogene $-E$ iſt auf der Mitte der Vorderfläche am ſtärkſten angehäuft und nimmt nach dem Rande zu ab; auf der Rückſeite findet ſich die abgeſtoßene $+E$, deren Dichtigkeit in der Mitte bei b ſehr gering nach dem Rande hin zunimmt. Die abgeſtoßene $+E$ greift noch um den Rand herum, ſo daß ſich am Rande auch auf der Vorderſeite noch $+E$ befindet; die Indifferenzlinie zwiſchen $+E$ und $-E$ liegt alſo auf der Vorderſeite, und zwar rückt ſie der Mitte um ſo näher, je mehr die vertheilende Kugel der vertheilten Scheibe genähert wird.

Aehnliche Verſuche ſtellte Fechner mit Stäben und Streifen von Metall an.

18 **Knochenhauer's weitere Unterſuchungen über gebundene Elektricität.** Die Fechner'ſchen Verſuche waren nicht im Stande, alle Zweifel Knochenhauer's über das Weſen der gebundenen Elektricität zu heben. Dieſe Zweifel veranlaßte ihn zu einer weiteren Reihe von Verſuchen, die wir jetzt beſprechen wollen.

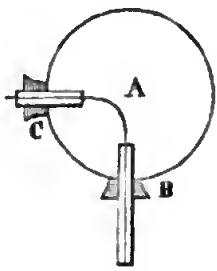
Der nächste hierher gehörige Aufsatz Knochenhauer's (P. A. LVIII. 31) führt die Ueberschrift »Versuche über gebundene Elektricität.« Der Eingang zu diesem Aufsatz lautet wörtlich so:

»Aus der Abhandlung von Fechner in diesen Annalen, worin er die »von mir ausgesprochene Ansicht über das Verhalten der gebundenen Elektricität zurückweist, lernte ich sowohl die Unzulänglichkeit der von mir beigebrachten Versuche kennen, als auch den Fehler in meiner Ansicht, wenigstens in der ihr gegebenen Ausdehnung und Fassung. Ich ließ damals aus Mangel an besseren Hülfsmitteln die Sache auf sich beruhen. »Als ich indeß später Veranlassung hatte, über die Grundgesetze der Elektricität weiter nachzudenken, dabei namentlich die Arbeiten von Farabay »und Rieß gehörig betrachtete und mehrere von ihren Angaben selbst untersuchte, da entstanden mir wiederum neue Zweifel über die Wahrheit »der hergebrachten Ansichten von dem Verhalten der gebundenen Elektricität in ihrer Beziehung zu der ursprünglichen Elektricität, von welcher sie »eben gebunden wird. Einzelne Thatsachen, die unwiderleglich vorlagen, »konnten entweder von mir danach nicht erklärt werden, oder es mußten »wenigstens manche Umstände noch in ein helleres Licht gesetzt werden, um »sicheren Aufschluß zu bekommen. Um mir nun diesen Aufschluß zu verschaffen, habe ich eine Reihe von Versuchen mit aller mir möglichen »Sorgfalt angestellt, und obschon auch diese bis jetzt keineswegs als abgeschlossen angesehen werden kann, so glaube ich sie doch zunächst mittheilen »zu dürfen, indem ich die Fortsetzung bis auf eine andere freie Zeit verschieben muß. Ich werde diese Versuche ohne alle Rücksicht auf irgend »eine Theorie mittheilen, rein, so wie sie sich ergeben haben, ja mit hinreichendem Detail, um Anderen das Urtheil über den Werth der von mir »abgeleiteten Formeln zu erleichtern; indeß will ich zum voraus auch keineswegs verschweigen, daß ich nach ihnen ziemlich zu den Ansichten Faraday's gelange, nur mit dem Unterschiede, daß wenn er zwischen den beiden Körpern, die sich gegenseitig elektrisch binden, eine Vertheilung in dem »von ihm so benannten Dielectricum annimmt, ich dieselbe lieber in den »Aether setzen mögte, der sowohl im leeren Raume als im Dielectricum »enthalten ist. Ich halte nämlich dafür, daß wir bei der Elektricität den »positiven und den negativen Strom nie von einander trennen dürfen, und »daß wo der eine ist, auch der andere in entgegengesetzter Richtung an derselben Stelle vorkommt; wenn demnach zwei Körper in Wechselwirkung »mit einander stehen, der eine positive, der andere negative Elektricität »enthält, und wenn endlich der Funke erfolgt, so kann weder der Hergang »der seyn, daß von einem Körper positive, vom andern negative Elektricität ausgeht, die sich in der Mitte vereinigen, noch kann eine allein den »Weg durchlaufen, sondern auf dem ganzen Wege des Funkens ist positive

»und negative Elektricität zugleich. Dieß aber iſt wieder nur dann mög»lich, wenn vorher, ehe der Funken überſchlägt, in dem Zwiſchenraume »ſelbſt irgend eine beſondere Dispoſition vorangeht; ich will ſie elektriſche »Spannung des Aethers nennen. Dieſe wird durch fortgeſetzte Ladung ge»ſteigert, und kommt endlich zu einem ſolchen Grade, daß der Nichtleiter »ihrem Andrange nicht mehr widerſtehn kann, und die elektriſche Schwingung »des geſpannten Aethers erfolgt. Für nichts anderes nämlich als für eine »eigenthümliche Schwingung, deren Art und Weiſe noch zu finden iſt, be»trachte ich den Funken. Doch ich übergehe das Weitere, das bis jetzt nur »Hypotheſe bleibt, und kehre zu den Verſuchen ſelbſt zurück.

»Ich will jetzt zuerſt erwähnen, was mir in den bisherigen Thatſachen vor»nehmlich auffallend war. Nimmt man einen iſolirten Leiter *A* von paſſender »Form, theilt ihm z. B. poſitive Elektricität mit, und ſtellt in zweckmäßigen »Entfernungen hinter einander zwei andere nicht iſolirte Körper *B* und *C*, ſo er»halten beide nach hergeſtelltem Gleichgewicht gebundene negative Elektricität, »und wenn ſie ſich frei bewegen können, ſo geht *B* von *C* ab nach *A* zu, *C* von »*B* ab weiter von *A* fort. Die negative Elektricität auf *C* ſoll der Ueberſchuß »ſeyn von der von *A* aus gebundenen negativen und von der von *B* aus gebun»denen poſitiven Elektricität. Hier fragt ſich nun, findet die electriſche Vertheilung und die elektriſche Anziehung nach denſelben oder nach differenten »Geſetzen Statt; gilt der erſtere Fall, wie man doch gewöhnlich annimmt, »wie kann in *C* die poſitive Elektricität von *A* »mehr binden, als die negative von *B*, und »doch die Anziehung von *A* aus geringer ſeyn, »als die von *B* aus? — Ferner nahm ich »eine Glaskugel von etwa 2 Zoll Durchmeſ»ſer, die bei *B* und *C* (Fig. 27) zwei Oeff»nungen mit Hülſen hatte; in die untere »ſteckte ich durch Schellack eine etwa einen Fuß »lange Glasröhre, in die andere *C* eine kür»zere mittelſt eines Korkes; durch beide Röh»ren ging ein dünner Kupferdraht, der bei *C* ein wenig hervorſah, die Kugel »ſelbſt war mit Lack überzogen. Wenn man dieſe Glaskugel an der Röhre »*B* hielt, indem man den Draht zugleich faßte, und ſie einem ſtark negati»ven Conductor ſo näherte, daß von der Spitze *C* aus derſelbe nicht geſehen »werden konnte, ſo ſtrömte doch von *C* ein deutlicher, über ¼ Zoll langer »Büſchel poſitiver Elektricität aus. Dieſes Strömen ſoll von der ge»bundenen poſitiven Elektricität entſtehen, die hier etwa in der Mitte »des Drahts bei *A* ſich findet; dies zugegeben, ſo geht die ſtrömende po»ſitive Elektricität offenbar abwärts vom Conductor in die Luft, und

Fig. 27.



»könnten wir jetzt den Conductor so schützen, daß seine negative Elektri»cität keine anderweitige Ableitung fände (welche Unmöglichkeit wenig»stens mit der Spitze *C* nichts zu thun hat), so bliebe der Hergang unaus»gesetzt derselbe, und wir hätten in der That ein perpetuum mobile con»struirt. Ward übrigens die Kugel gedreht, so verstärkte sich nach und »nach der positive Büschel; füllte man sie mit Feilspähnen, so ward der Her»gang nicht geändert. — Eine wohl isolirte Metallkugel mit zwei Spitzen »nach entgegengesetzter Richtung werde in die Nähe eines z. B. positiv elek»trischen Conductors gesetzt, so strömt die zugewandte Spitze negative, die »abgewandte positive Electricität aus. Bei zwei verschiedenen Elektri»citäten muß hier Zersetzung in der Kugel stattfinden, die demnach nie auf»hört. Doch dieser Versuch war mir in einer anderen Beziehung noch »wichtiger; hält man einen isolirten Metallstab, woran unten und oben »ein Pendel befestigt ist, über einen geladenen Conductor, läßt aber an den »Metallfäden der Pendel unten die Kugel fort, so begeben sich beide Pen»del von dem Metallstabe abwärts, allein der untere strömt die dem Con»ductor entgegengesetzte, der andere die gleiche Elektricität aus. Der Ver»such ist der ursprünglich von Rieß angegebene. Es zeigt sich hier eben»falls die Ablenkung, aber zugleich ein Zusammenhang mit der Entladung. »Welcher Umstand gilt demnach als Hauptsache? — Unter den von Rieß »streng ermittelten Thatsachen blieb mir, wie an der fraglichen Stelle »gleichfalls schon bemerkt ist, immer die merkwürdigste, daß die Erwärmung »im Schließungsdrahte umgekehrt zum Quadrate seines Querschnitts steht, »also vom Quadrate der Intensität des durchgehenden Stromes abhängt. »Ich kann hierin nur die Thatsache erblicken, daß jeder elektrische Strom »ein zwiefacher ist, und hätte Rieß seine Formeln so gestellt, daß er die »Erwärmung einmal von der Intensität *i* und zweitens von der Dauer *t* »des Stromes abhängig gesetzt hätte, so wäre die Erwärmung ϑ unter ent»sprechenden Umständen immer zu $i^2 t$ proportional gewesen; denn da *i* pro»portional mit $\frac{q}{s}$ nach seiner Bezeichnung wächst und *t* direct mit *q*, um»gekehrt mit der Intensität *i* oder $\frac{q}{s}$ zunimmt, so geht dadurch die Er»wärmung mit $\frac{q^2}{s}$ proportional. Also auch hier der Doppelstrom. Nicht »weniger merkwürdig ist der Umstand, daß die Intensität bei der Entla»dung proportional zur Länge des Funkens ist; ja das Auffallende würde »noch mehr hervortreten, wenn man den Abstand der beiden Kugeln zwi»schen denen sich die Batterie entladet, weiter ausdehnen und die Gültig»keit dieses Gesetzes auch bei größeren Entfernungen durch Versuche nach»weisen könnte. — So viel von den Dingen, die mich zu weiteren neuen

»Verſuchen veranlaßten. — Das erſte, was ich mir ſelbſt zu ermitteln »vorſetzte, war die Beſtimmung der Quantität der gebundenen Elektricität »in verſchiedenen Entfernungen.«

Ich habe dieſe Einleitung nur als ein Beiſpiel der höchſt confuſen Darſtellungsweiſe angeführt, welche ſich durch alle Abhandlungen Knochenhauer's durchzieht. Was er eigentlich will, muß der Leſer in den meiſten Fällen errathen. Er wirft die verſchiedenartigſten Dinge, die er durch nebelhaft gehaltene theoretiſche Andeutungen zu verbinden ſucht, bunt durcheinander. Die Schlüſſe, die er aus ſeinen Verſuchen zieht, ſind meiſt ſehr unklar entwickelt, und ſelten iſt es ihm gelungen, ein einfach und beſtimmt ausſprechbares Reſultat zu erhalten.

In Beziehung auf Unklarheit der Darſtellung könnte ſich Knochenhauer mit dem Beiſpiel anderer Phyſiker entſchuldigen, deren Namen in der Wiſſenſchaft hochgefeiert ſind; namentlich könnte er ſich auf Faraday berufen, deſſen theoretiſche Betrachtungen allerdings an großer Unklarheit leiden; aber ganz abgeſehen davon, daß die Berufung auf die Fehler anderer gewiß keine zuläſſige Rechtfertigung bietet, iſt doch auch zu bedenken, daß Faraday ſeinen Ruf, ſeine Bedeutung für die Wiſſenſchaft gewiß nicht durch ſeine nebelhaft gehaltenen theoretiſchen Betrachtungen über die Natur der elektriſchen Kräfte, ſondern der Entdeckung ſo zahlreicher wichtiger Thatſachen verdankt. Faraday iſt ein genialer Forſcher, ein unermüdlicher und glücklicher Experimentator, aber durchaus kein klarer Theoretiker. Die Unklarheit der Darſtellung, da wo er theoretiſche Anſichten beſpricht, kann man ihm ſchon zu Gute halten, weil er uns in ſeinen Abhandlungen eine ſolche Fülle der wichtigſten Thatſachen bietet.

Knochenhauer ſcheint das eigenthümliche Unglück zu haben, Verwirrung in allen Fragen anzurichten, die er behandelt. Nachdem Rieß ſo klar gezeigt hattte, daß man der gebundenen Elektricität durchaus keine beſonderen Eigenſchaften vindiciren könne, bringt er doch wieder Verſuche vor, welche die Sache abermals in Zweifel ziehen ſollen; Fechner beweiſt ihm die Unzulänglichkeit ſeiner Verſuche, Knochenhauer geſteht ſie ein, läßt ſich aber nicht abhalten, denſelben von neuem zu begehen und auf ungenaue Verſuche geſtützt, ein Geſetz über die Abnahme der Quantität der gebundenen Elektricität bei zunehmender Entfernung vom bindenden Körper zu publiciren, welches Allem, was wir von Bindung und Wirkung in der Ferne wiſſen, ſchnurſtracks widerſpricht, alſo alle unſere Fundamentalbegriffe über ſtatiſche Elektricität wieder in Frage ſtellt. Der Verſuch mit den drei Leitern, deſſen in der oben abgedruckten Einleitung zu der Knochenhauer'ſchen Abhandlung Erwähnung geſchieht, ſcheint

beſonders ſeine Zweifel erregt zu haben; wir wollen dieſen Verſuch etwas näher betrachten.

Drei Leiter *A*, *B* und *C* Fig. 28 ſeyen in gerader Linie aufgeſtellt. Iſt *A* iſolirt und mit $+E$ geladen, während *B* und *C* nicht iſolirt ſind, ſo werden ſich *B* und *C* mit gebundener $-E$ laden; ſind nun *B* und *C* beweglich, ſo bewegt ſich *B* gegen *A* hin, *C* von *A* weg, wie es die Pfeile der Figur andeuten. Nun ſagt Knochenhauer, da die $+E$ des Leiters *A* noch $-E$ auf *C* binden kann, da alſo die bindende Wirkung, die *A* auf *C* ausübt, diejenige von *B* auf *C* übertrifft, welche letztere *C* mit $+E$ zu laden ſtrebt, wie kommt es denn, daß *C* nicht auch ſtärker von *A* angezogen, als von *B* abgeſtoßen wird? — Wenn *A* ſtärker bindend auf *C* wirkt als *B*, ſo ſollte auch die von *A* ausgehende Anziehung überwiegen, wenn anziehende Kraft und Bindung mit wachſender Entfernung nach gleichen Geſetzen abnehmen.

Fig. 28.

Was ſoll man nun von dieſem Verſuche halten? Es fehlen durchaus alle näheren Angaben über die Art und Weiſe, wie er anzuſtellen iſt; es iſt nicht geſagt, wie groß die Leiter *A*, *B* und *C*, es iſt nicht geſagt, in welchen Entfernungen ſie aufgeſtellt ſind, kurz es fehlen alle Angaben, aus denen man einen Schluß auf die Bedeutung dieſes Verſuchs ziehen könnte; ja es hat faſt den Anſchein, als habe Knochenhauer einen ſolchen Verſuch, von dem er, wie von einer bekannten Thatſache ſpricht, gar nicht angeſtellt.

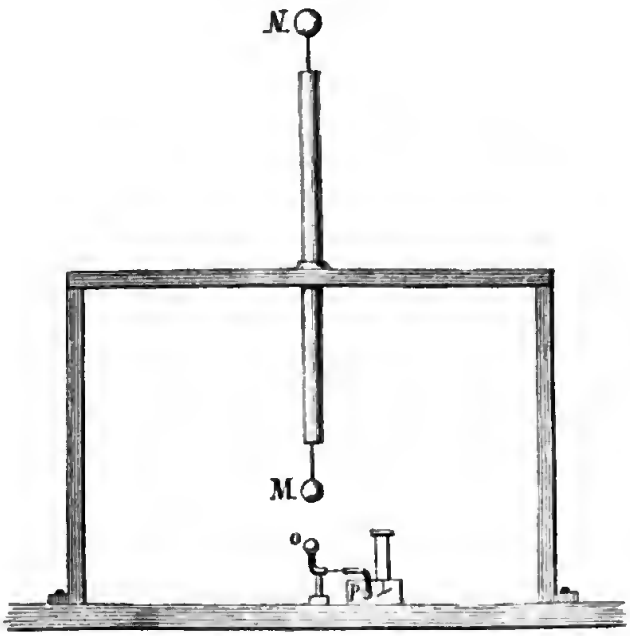
Gehen wir nun zu den Verſuchen über, durch welche Knochenhauer das Verhältniß der Menge der gebundenen Elektricität zur Entfernung vom bindenden Körper zu ermitteln ſucht.

Das Meßinſtrument, welches er zu dieſem Zwecke anwendet, iſt eine Coulomb'ſche Drehwage. Dieſe Drehwage ſteht in einem Rahmen, Fig. 29 (a. f. S.), welcher 2′ hoch und 3′ breit iſt. Durch die Mitte des oberen Balkens geht eine Glasröhre, in der ein Draht befeſtigt iſt, der unten *M*, oben *N* trägt. *M* ſteht gerade über *O*, *N* iſt mit der inneren Belegung einer Leidner Flaſche in Verbindung. Der gebogene Leitungsdraht, welcher *o* und *p* mit einander verbindet, iſt mit Schellak überzogen und ruht auf einem Fuß von Schwefel. Nur an einer Stelle iſt dieſer Draht frei von Schellack, ſo daß man ihn hier mit dem Boden in leitende Verbindung ſetzen kann.

Die Verſuche wurden nun folgender Weiſe angeſtellt. Dem Faden wurde zunächſt eine Torſion von 5 Umdrehungen gegeben, und der Verbindungsdraht von *o* und *p* mit dem Boden in leitende Verbindung ge-

ſetzt. Nun wurde die Flaſche mit einer beſtimmten Quantität E geladen, dadurch verbreitete ſich eine beſtimmte Quantität E auf M, die eine be-

Fig. 29.



ſtimmte Quantität E auf o bindet. Dieſe auf o gebundene E wird aber frei, wenn die Flaſche und mit ihr M entladen wird, nachdem man die leitende Verbindung zwiſchen o und dem Boden aufgehoben hat; die frei gewordene E verbreitet ſich auch nach p, und bewirkt eine Drehung des beweglichen Balkens in der Drehwage, deren Größe von der Stärke der Ladung abhängt. Derſelbe Verſuch wurde bei verſchiedenen Entfernungen zwiſchen M und o wiederholt und immer die entſprechenden Ablenkungen der Drehwage beobachtet, aus denen dann Knochenhauer auf die Stärke der Ladung, alſo auch auf die Quantität der durch M auf o gebundenen Elektricität ſchließen zu können glaubt.

Folgendes ſind die Reſultate einer ſolchen Beobachtungsreihe.

d	x
1	33° 8′
4	23° 55′
9	16° 22′
16	10° 22′

d bezeichnet hier die Entfernung der Kugeln o und M, wobei 3 Pariſer Linien als Einheit genommen ſind.

Aus vielen solchen Versuchsreihen leitet Knochenhauer für die Quantität J die in einer Entfernung d gebunden wird, die Formel

$$J = (0{,}70736)^{\sqrt{d}}\, E$$

ab, wo sich E von einer Versuchsreihe zur andern ändert.

Sehen wir nun zunächst, wie diese Formel mit obiger Versuchsreihe harmonirt. Nehmen wir, was ohne merklichen Fehler geschehen kann, den Winkel x als die Entfernung zwischen den beiden sich abstoßenden Körpern in der Drehwage an. Ist nun J die Intensität der Elektricität auf der Kugel p und auf der Kugel des beweglichen Hebels, so ist ihre gegenseitige Abstoßung $\frac{J^2}{x^2}$, und diese hält der Torsion des Fadens das Gleichgewicht, es ist also

$$\frac{J^2}{x^2} = t$$

mithin

$$J = x\sqrt{t}$$

d. h. die Intensität der elektrischen Ladung ist dem Ablenkungswinkel proportional, folglich muß auch

$$x = (0{,}70736)^{\sqrt{d}}\, N$$

seyn und damit stimmt obige Versuchsreihe in der That ziemlich gut überein. Für $d = 1$ haben wir nämlich $x = 33{,}133^0$, es ist also

$$33{,}133 = 0{,}70736.N$$

und daraus

$$N = 47{,}33$$

es ergiebt sich demnach ferner

$$\text{für } d = 4,\ x = 47{,}33\ (0{,}70736)^{\sqrt{4}} = 23^0, \ldots$$

$$d = 9,\ x = 47{,}33\ (0{,}70736)^{\sqrt{9}} = 16^0, \ldots$$

$$d = 16,\ x = 47{,}33\ (0{,}707..)^{\sqrt{16}} = 11^0, \ldots.$$

Diese Versuchsreihe, und so auch die andern scheinen also wirklich dieses merkwürdige Gesetz

$$J = E\,(0{,}70736)^{\sqrt{d}}$$

zu bestätigen, welches sich gar nicht recht in Worten will ausdrücken lassen, und welches mit den gewöhnlichen Ansichten über elektrische Bindung allerdings nicht in Uebereinstimmung zu bringen ist. Diese Versuchsreihen aber bieten mir doch nicht genug Garantie, um darauf hin ein so sonderbares, allen unseren Vorstellungen über das Wesen der Bindung so schnurstracks widersprechendes Gesetz anzunehmen.

Wollte man die Knochenhauer'ſchen Verſuche einer ſtrengen Kritik unterwerfen, ſo würde man eine Menge Umſtände herausfinden, welche geeignet ſind, Zweifel gegen die Genauigkeit der Reſultate zu erwecken. Da ich weiter unten nachweiſen werde, wodurch Knochenhauer durchaus falſche Reſultate erhalten mußte, ſo will ich hier die untergeordneten Fehler, welche blos der Genauigkeit Eintrag thun, bis auf folgenden Punkt übergehen.

Bei den meiſten Verſuchen betrug der Durchmeſſer der Kugel *M* 9 Linien, der Durchmeſſer der Kugel *o* aber 4‴; wenn nun die Kugeln 3‴ von einander abſtanden, ſo darf man doch 3‴ gewiß nicht für die Diſtanz der Anziehungsmittelpunkte annehmen. Hier iſt ganz gewiß die Entfernung der beiden Kugeln viel zu klein im Vergleich zu ihren Dimenſionen, als daß es erlaubt wäre, aus ſolchen Verſuchen einen Schluß auf die Abnahme der Bindung bei wachſender Entfernung zu machen. Das Geſetz, daß die elektriſche Anziehung und Abſtoßung im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung ſtehe, ſetzt voraus, daß die Entfernung der auf einander wirkenden Körper groß genug ſey, um ohne merklichen Fehler die anziehende oder abſtoßende Wirkung in ihrem Mittelpunkte vereinigt zu denken. Knochenhauer legt ſeiner Betrachtung ſtillſchweigend die Vorausſetzung unter, daß die Kugeln ſo auf einander wirkten, als ob alle Elektricität der Kugel *M* in ihrem unterſten alle gebundene Elektricität der Kugel *O* in ihrem oberſten Punkte vereinigt wäre, was ſicherlich nicht zugegeben werden kann.

Knochenhauer verfällt hier in denſelben Fehler, welchen Rieß mit Recht an einer Arbeit von Snow Harris rügt, indem er ſagt: »ſo ſucht z. B. der unermüdliche Experimentator Snow Harris allgemein gültige Zahlenverhältniſſe zwiſchen der Wirkung eines ſtatiſch electriſirten Leiters auf einen neutralen, und der Entfernung der nächſten Fläche der Leiter (Phil. Transact. f. 1834). Vor ſolchen Fehlgriffen hätten Coulombs und Priſſons Arbeiten bewahren müſſen.«

Bei den Knochenhauer'ſchen Verſuchen haben Umſtände ſtörend eingewirkt, welche ſeine Reſultate durchaus falſch machten, und welche veranlaßten, daß er die Quantität der gebundenen Electricität bei wachſender Entfernung von dem bindenden Körper viel zu langſam abnehmend fand.

Er ſelbſt führt eine Beobachtungsreihe an, die wohl geeignet geweſen wäre, ihm Mißtrauen gegen ſeine Beobachtungsweiſe zu erregen. Bei etwas ſtarker Ladung der Flaſche fand er nämlich folgende zuſammengehörige Werthe von *d* und *x*

d	x
1	40°
2	vollständiges Umschlagen der Nadel
3	43
4	41,5

also bei größeren Entfernungen stärkere Wirkungen. Diese Beobachtungsreihe war freilich nicht zu gebrauchen. Die Umstände, welche hier für kleine Entfernungen die Wirkung offenbar zu klein machen, und zwar so, daß die Unbrauchbarkeit des Versuchs in die Augen springt, wirken aber auch sicherlich bei allen anderen Versuchsreihen, nur nicht in dem Maaße wie bei den zuletzt angeführten, d. h. noch nicht so stark, daß für größere d sogar ein stärkere Wirkung erfolgt. Sollten die störenden Einflüsse, die bei einer etwas stärkeren Ladung im Extrem auftreten, bei etwas schwächeren Ladungen ganz fehlen?

Experimenteller Beweis, daß die Quantität der gebundenen Elektricität sich umgekehrt verhält, wie das Quadrat der Entfernung vom bindenden Körper. Um die Knochenhauer'schen Einwendungen definitiv zu widerlegen, habe ich selbst eine Reihe von Versuchen über das Gesetz angestellt, nach welchen die Stärke der Bindung abnimmt, wenn die Entfernung der auf einander bindenden Körper wächst. 19

Die Beobachtungsmethode war im Wesentlichen dieselbe, wie die von Knochenhauer angewandte, nur substituirte ich für die Drehwage ein Strohhalmelektrometer, welches mit einem Gradbogen versehen war. Zunächst war zu untersuchen, in welchem Verhältniß die Zunahme der Ladung mit der Zunahme der Divergenz der Pendel steht, um später aus den Divergenzen auf die Größe der elektrischen Kräfte schließen zu können, welche dieselben hervorbringen. Dies geschah auf folgende Weise.

Eine große Leidner Flasche (sie hatte ungefähr 2□′ innere Belegung) wurde mit positiver Elektricität geladen: der Knopf dieser Flasche konnte als eine ziemlich constante Quelle von Elektricität betrachtet werden, von der man leicht immer dieselbe kleine Quantität nehmen und auf das Electrometer übertragen kann. Diese Uebertragung geschah mittelst einer Messingkugel von ungefähr 3‴ Durchmesser, die durch einen hinlänglich langen Siegellackstiel isolirt war. Es wurde diese kleine Kugel mit der Kugel der Leidner Flasche in Berührung gebracht und dadurch mit einer bestimmten Menge von Elektricität geladen, die wir mit 1 bezeichnen wollen. Diese Quantität 1 wurde nun dadurch auf das Elektrometer übertragen, daß man die Platte desselben mit der geladenen Kugel berührte; die Pendel

divergirten und da die Elektricitätsmenge 1 entſprechende Divergenz wurde abgeleſen.

Nun wurde die kleine Kugel abermals mit der Kugel der Flaſche in Berührung gebracht und dieſelbe Elektricitätsmenge abermals auf den Elektrometer übertragen, deſſen Divergenz dadurch eine entſprechende Zunahme erhielt. Auf ſolche Weiſe wurde nun die Ladung des Electrometers ſtets um dieſelbe Elektricitätsmenge vermehrt und ſtets die entſprechende Divergenz des Pendels beobachtet.

Die Steigerung der Ladung wurde bis zu den Quantitäten 7, 8 oder 9 fortgeſetzt, darauf der Elektrometer entladen und dieſelbe Verſuchsreihe wiederholt.

Daß während der ganzen Verſuchszeit die Stärke der elektriſchen Ladung der Flaſche nicht merklich abnahm, geht aus den in der folgenden Tabelle verzeichneten Zahlen hervor, welche die Reſultate von 8 Verſuchsreihen enthält.

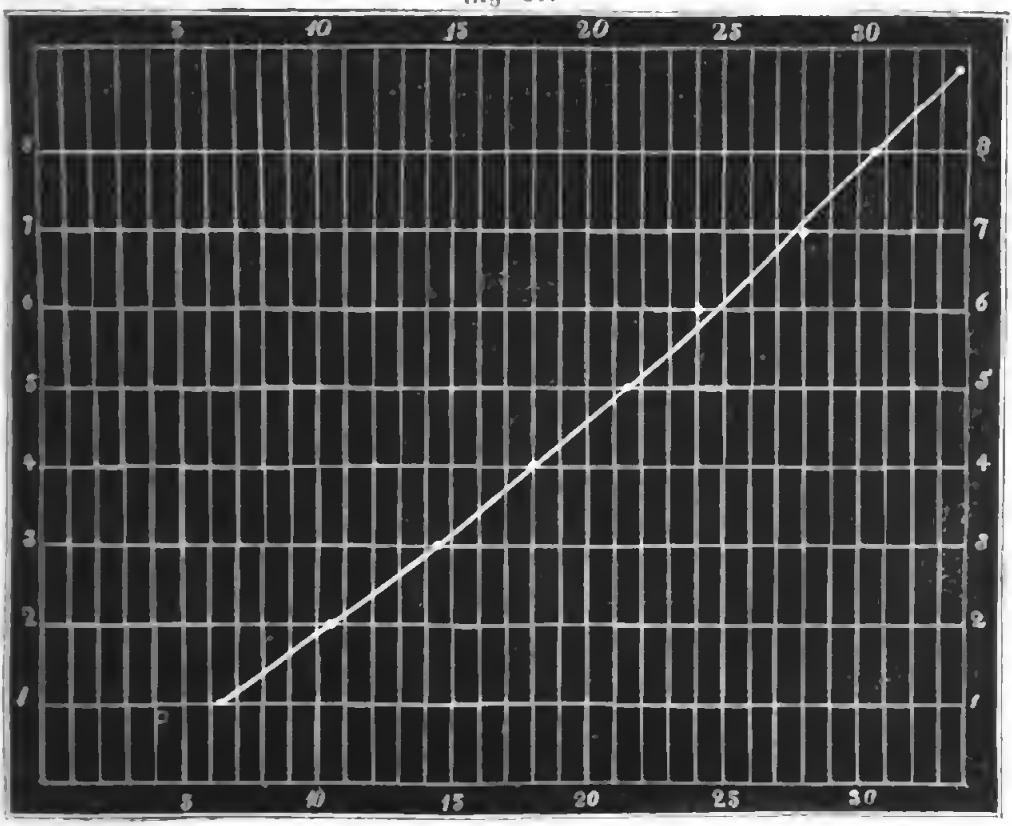
E	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	Mittel
1	6°	7°	7°	7°	7°	6°	5,5°	6°	6,4
2	10	11	11	9	11	10	10	11	10,3
3	15	15	15	15	14,5	16	14	15	14,6
4	18,5	18	19	18	18	19	17,5	19	18
5	22	22	22	21	21,5	22	21,5	22	21,4
6	24,5	25	25	24	24,5	—	23	23	24
7	28	28	28	27	27	—	28,5	28,5	28
8	—	30	32	30	30	—	31,5	31	30,7
9	—	—	—	—	—	—	33,5	34	33,7

Die erſte Vertikalreihe enthält die Elektricitätsmengen, welche auf den Elektrometer übertragen worden ſind, jede der folgenden 8 Vertikalreihen enthält die entſprechenden Divergenzen, wie ſie bei 8 auf einander folgenden Verſuchsreihen gefunden wurden, die letzte Kolumne enthält das Mittel der für jede Elektricitätsmenge gefundenen Divergenzen.

Statt den Zuſammenhang zwiſchen der Elektricitätsmenge, mit welcher der Elektrometer geladen iſt und die Divergenz des Pendels durch complicirte Formeln auszudrücken, habe ich verſucht, ihn durch graphiſche Darſtellung anſchaulich zu machen. In Fig. 30. ſind die Ordinaten der Elektricitätsmengen, die Abſciſſen der Divergenzen proportional, und zwar ſind die ſtark markirten Punkte diejenigen, welche den zu den verſchiedenen, links

an der Figur beigeschriebenen Elektricitätsmengen gehörigen mittleren Divergenzen entsprechen.

Fig. 30.



Diese Punkte lassen sich in der That, wie es auch in der Figur geschehen ist, durch eine ganz regelmäßige Kurve verbinden, welche den Zusammenhang zwischen Elektricitätsmenge und der Divergenz darstellt, wenn nur die Punkte, welche der Elektricitätsmenge 6 und 7 angehören, etwas neben der Kurve liegen bleiben.

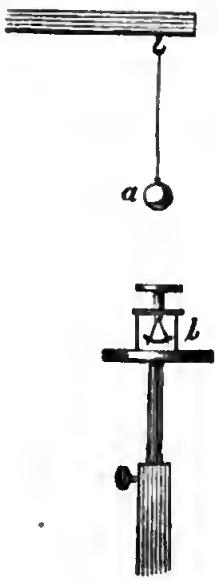
Die Ablesungen, aus welchen diese Resultate gezogen wurden, sind freilich immer nur bis auf halbe Grade genau gemacht worden; eine größere Genauigkeit in der Ablesung der einzelnen Beobachtung ist aber auch durchaus nicht nöthig, da die Resultate durch verschiedene Ursachen doch um mehr als $\frac{1}{2}$ unsicher werden, und die einzelnen Ablesungen für dieselbe Elektricitätsmenge manchmal um 2 Grad verschieden ausgefallen sind. — Knochenhauer giebt bei seinen Beobachtungen freilich sogar einzelne Minuten an, obgleich die Unsicherheit der Beobachtungen auf mehrere Grade geht; wie er an seinem so kleinen Instrumente einzelne Minuten ablesen konnte, wie es z. B. bei der auf Seite 44 angeführten Versuchsreihe der Fall ist, läßt sich schwer begreifen; wenn aber auch das Instru-

ment eine ſo genaue Ableſung wirklich erlaubt hätte, ſo war ſie doch unnöthig, weil die Einſtellung der Nadel bei weitem nicht bis zu jenem Grade ſicher iſt. Man ſollte bei ſolchen Angaben keine größere Genauigkeit affectiren, als ſie die Umſtände wirklich zulaſſen.

Nachdem das Strohhalm-Elektrometer auf die angegebene Weiſe geprüft war, konnte ich zu den entſcheidenden Verſuchen ſelbſt übergehen, die auf folgende Weiſe angeordnet waren.

An einer ſeidenen, wohl iſolirenden Schnur war eine hohle Meſſingkugel von 2 Zoll Durchmeſſer aufgehängt. Genau unter derſelben ſtand das Elektrometer auf einer Platte, deren Stiel beliebig auf- und abgeſchoben, und in jeder beliebigen Stellung feſtgeſtellt werden konnte. Die Meſſingplatte des Elektrometers hatte 18‴ Durchmeſſer.

Fig. 31.



An dem Stabe, welcher die Platte des Statifs trug, waren drei Striche in einem Abſtande von 3 Zollen angebracht. Wenn der unterſte dieſer Striche gerade an dem oberen Ende des hohlen Fußes einſtand, war die Platte des Elektrometers 3 Zoll von dem Mittelpunkte der Kugel entfernt; dieſe Entfernung betrug 6 Zoll oder 9 Zoll, wenn der zweite oder der oberſte der drei Striche eben ſo einſtand. Nehmen wir 3 Zoll zur Einheit, ſo befand ſich alſo die Elektrometerplatte einmal in der Entfernung 1, dann in der Entfernung 2, endlich in der Entfernung 3.

Als die Platte des Elektrometers in der Entfernung 3 von der Kugel ſtand, wurde nun dieſe Platte ableitend mit dem Finger berührt, und die Kugel *a* dadurch geladen, daß ſie mit der Kugel einer kleinen geladenen Flaſche in Berührung gebracht wurde.

War auf dieſe Weiſe die Kugel geladen, ſo wurde die Flaſche raſch auf Seite geſtellt.

Die Elektricität auf *a* mußte nun eine beſtimmte Quantität entgegengeſetzter *E* auf *b* binden, die alsbald meßbar wurde, wenn man den Finger von *b* zurückzog und ſogleich die Kugel *a* mit der Hand faßte und auf Seite ſchob. — Es ergab ſich eine Ablenkung von 6°.

Nun wurde die Platte des Statifs um 3 Zoll höher geſtellt, ſo daß jetzt die Entfernung zwiſchen *b* und dem Mittelpunkte von *a* gleich 2, alſo 2 × 3 Zoll, war, und der Verſuch auf dieſelbe Weiſe wiederholt, wobei dieſelbe Flaſche mit der nämlichen Ladung angewandt wurde. Es ergab ſich die Divergenz 12°.

Derselbe Versuch in der Entfernung 1 wiederholt, gab die Divergenz 30,5°.

Jetzt wurde der Elektrometer der Reihe nach in die Entfernung 2, 3, 2, 1, 2, 3 u. s. w. gebracht und immer derselbe Versuch angestellt. Die Resultate der Beobachtungen sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

											Mittel.
1	30,5		31,5		30		31		30		30,6
2	12	12	12,5	10	12	11	10,5	11,5	11	11,5	11,4
3	6		6		5,5		6		7	6	6,2

Bei gleicher Ladung der Kugel *a* erhielt man also im Mittel die Divergenz 30,6° für die Entfernung 1; die Divergenz 11,4° für die Entfernung 2, und endlich die Divergenz 6,2° für die Entfernung 3.

Die gleiche Ladung der Kugel *a* wurde dadurch erhalten, daß sie immer mit der Kugel derselben für die ganze Versuchsreihe ein für allemal geladenen Leidener Flasche berührt wurde. Allerdings wurde die Ladung der Flasche bei jeder Berührung mit der Kugel etwas vermindert, doch ist diese Verminderung nach zwanzigmaliger Berührung noch unmerklich, wie man aus obiger Tabelle ersieht.

Sehen wir nun, wie groß die elektrischen Ladungen sind, welche an unserm Elektrometer die Divergenzen 30,6 — 11,4 — und 6,2 geben.

Aus Betrachtung der Fig. 30 ergiebt sich, daß die Divergenz 30,6 der elektrischen Quantität 8; die Divergenz 11,4 der elektrischen Quantität 2,25 und 6,2 der Quantität 0,95 entspricht. Die Quantität der Elektricität, welche die Kugel *a* auf *b* bindet, ist also

für die Entfernung 1 gleich 8
» » » 2 » 2,25
» » » 3 » 0,95

Die Zahlen 0,95 — 2,25 und 8 verhalten sich in der That sehr nahe wie 1, — 4 und 9, also umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung. Nur für die Entfernung 1 ist die abgelesene Divergenz etwas zu klein, was sich aber leicht erklären läßt; bei so starker Ladung des Elektrometers, welche eine Divergenz von 30 in mehreren Graden hervorbringt, sinken die Pendel wegen des stärkeren Verlustes rascher zusammen, bis man also zum Ablesen kommt, hat sich die ursprüngliche Divergenz schon etwas vermindert.

Eine ähnliche Versuchsreihe, wobei bloß zwischen der einfachen und doppelten Entfernung gewechselt wurde (als Einheit der Entfernung war hierbei 4″ genommen worden), gab folgende Resultate:

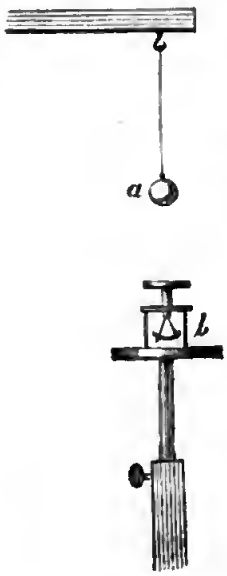
					Mittel.
1	26	24	24,5	24	24,6
2	9	9	8,5	9	8,87

Die Divergenzen 24,6 und 8,87 entſprechen den Elektricitätsmengen 6 und 1,6, die ſich ebenfalls ſehr nahe verhalten, wie 4 zu 1; alſo auch hier für die doppelte Entfernung eine viermal geringere Menge der gebundenen Elektricität.

Ich ſollte denken, daß dieſe Verſuche genügen, um den Satz außer Zweifel zu ſetzen, daß die Menge der Elektricität, welche auf einem nicht iſolirten Leiter durch einen benachbarten iſolirten und elektriſch geladenen gebunden wird, ſich umgekehrt verhält, wie das Quadrat der Entfernung der beiden Leiter, vorausgeſetzt, daß die Dimenſionen derſelben und ihre Entfernung von der Art ſind, daß man die elektriſchen Kräfte ohne bedeutende Fehler als in ihrem Schwerpunkte concentrirt annehmen kann.

Bei den Knochenhauer'ſchen Verſuchen war die Entfernung zwiſchen dem bindenden Körper und demjenigen, auf welchen die entgegengeſetzte Elektricität gebunden wird, viel kleiner, als bei meinen Verſuchen; bei ihm war die kleinſte Entfernung 3 Linien, bei mir 3 Zoll. — Dies brachte mich auf den Gedanken, es möchte wohl bei Knochenhauer's Verſuchen Elektricität übergegangen ſeyn. Um zu unterſuchen, ob dies wirklich der Fall geweſen ſeyn konnte, machte ich die Entfernung zwiſchen der Kugel *a* und der Elektrometerplatte im Lichten 3‴ und ließ dann den Elektrometer ſo weit herunter, daß die Entfernung der Platte von dem Mittelpunkte der Kugel doppelt ſo groß wurde, als bei der erſten Stellung. Auch hier ergab ſich in der doppelten Entfernung eine ungefähr viermal kleinere Wirkung, hier war alſo keine Elektricität von der Kugel zur Platte übergegangen.

Fig. 32.



Die Kugel war aber ziemlich groß, die Platte ein Stück einer unendlich großen Kugel; die Kugel *a* war überdies noch gefirnißt, lauter Umſtände, die dem Uebergange der Elektricität weit weniger günſtig waren, als bei Knochenhauer.

Ich vertauſchte nun die Kugel *a* mit einer andern nicht gefirnißten, die nur 8‴ Durchmeſſer hatte; die Platte des Elektrometers wurde abgeſchraubt und durch eine Kugel von ungefähr 4 Linien Durchmeſſer erſetzt.

Als die Entfernung zwiſchen beiden Kugeln 12 Linien (alſo die Entfernung des Mittelpunktes 18 Linien) betrug, erhielt ich bei Wiederholung des Verſuchs in oben angegebener Weiſe, bei einer Ladung, die natürlich bedeutend ſchwächer ſeyn mußte, als bei den frühern Verſuchen, eine Divergenz von 8 bis 10 Grad; als aber der Elektrometer ſo weit genähert wurde, daß die Entfernung im Lichten nur noch 3‴ Linien betrug, die Entfernung des Mittelpunktes alſo nur halb ſo groß war als bei der erſten Stellung, ergab ſich bei gleicher Ladung der kleinen Kugel *a* nicht etwa eine nahezu viermal ſtärkere Divergenz der Pendel, ſondern ebenfalls nur eine Divergenz von 10°.

Hier war nun offenbar Elektricität zwiſchen den Kugeln übergegangen und dadurch die Ladung der oberen Kugel ſowohl als auch die Menge der gebundenen Elektricität auf die untere bedeutend vermindert worden.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daß gerade dieſer Umſtand auch bei den Knochenhauer'ſchen Verſuchen ſtörend wirkte und ſeine Reſultate durchaus unbrauchbar machte.

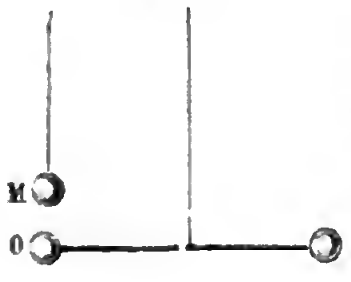
Knochenhauer's weitere Verſuche über gebundene Elektricität. Nach dieſer Beleuchtung der Knochenhauer'ſchen Geſetze über die Quantität der gebundenen Elektricität wird es wohl erlaubt ſeyn, über den Reſt der erwähnten Abhandlung nur ganz kurz zu referiren; Knochenhauer führt im Verlaufe derſelben noch folgende Sätze als Reſultate ſeiner Verſuche an. 20

1) Wenn bei unveränderter Entfernung eines iſolirten geladenen Leiters *a* und eines nicht geladenen *b*, die Ladung von *a* zwei-, drei-, viermal ſo groß wird, ſo wird die auf *b* gebundene Elektricität ebenfalls zwei-, drei-, viermal ſo groß ſeyn.

Gegen dies Reſultat, welches ſich wohl von ſelbſt verſteht, iſt nichts einzuwenden.

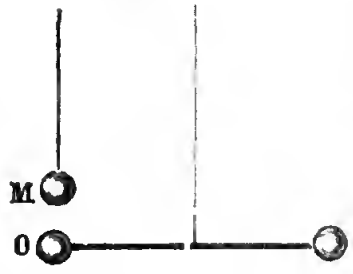
2) In Beziehung auf die Anziehung einer Kugel mit gebundener Elektricität in verſchiedener Entfernung kommt Knochenhauer zu folgendem Reſultat.

Fig. 33.



Wenn *M* eine mit der Innenſeite der Batterie verbundene Metallkugel iſt, wenn ferner die Kugel *O*, welche das eine Ende eines an einem iſolirenden Faden hängenden Metallſtäbchens bildet, vertikal unter *M* hängt, ſo wird in *O* Elektricität gebunden, wenn die Batterie alſo auch *M* geladen wird. Iſt das Metallſtäbchen mit dem Boden oder der äußeren Belegung der Flaſche in leitender Verbindung, ſo wird die Elektricität auf *O* bei

Fig. 34.



ſteigender Ladung von *M* endlich ſo zu nehmen, daß *O* gehoben wird, wozu ſtets eine beſtimmte Größe der anziehenden Kraft zwiſchen *M* und *O* nöthig iſt. Wenn nun bei einer beſtimmten Entfernung zwiſchen *M* und *O* eine beſtimmte Ladung nöthig iſt, um die Hebung von *O* zu bewerkſtelligen, ſo ſoll bei doppelter, dreifacher, vierfacher Entfernung zwiſchen *M* und *O* auch eine zwei-, drei-, viermal ſo große Ladung von *M* nöthig ſeyn, um denſelben Effect zu erhalten, oder mit andern Worten: Wenn die Stärke der Anziehung zwiſchen *M* und *O* unverändert bleiben ſoll, ſo muß die Ladung von *M* in demſelben Maaße wachſen, wie die Entfernung zwiſchen *M* und *O*.

Dieſer Satz iſt eben ſo unwahrſcheinlich, und möchte wohl auf eben ſo ſchwachen Füßen ſtehen, wie das Geſetz über die Quantität der gebundenen Elektricität, ich halte deshalb eine detaillirtere Beſprechung für unnöthig.

3) In der Formel

$$J = N \,.\, b^{\sqrt{d}},$$

welche die Quantität der gebundenen Elektricität ausdrücken ſoll, nennt Knochenhauer den Factor *b*, welcher zur Potenz $\sqrt{d}$ erhoben werden ſoll, den Bindeexponenten, und findet, daß dieſer Bindeexponent unverändert bleibt, mag nun zwiſchen *M* und *O* ein lufterfüllter oder ein luftleerer Raum ſeyn.

4) Wenn zwiſchen den Kugeln *M* und *O* ein verdünnter Raum iſt, ſo ſchlagen die Funken ſchon bei geringerer Ladung über. Die folgende Tabelle zeigt, bei welchen Ladungen der Batterie (ausgedrückt in Funken der Lane'ſchen Flaſche) ein Ueberſchlagen des Funkens ſtattfand, wenn die Luft zwiſchen den Kugeln allmälig verdünnt wurde.

B	J
27,4	41,85
24,4	37,75
21,4	33,45
18,4	29,05
15,4	25,10
12,4	20,80
9,4	16,60
6,4	12,20
3,4	8,05
1,9	5,20

Um die Luft zwiſchen den Kugeln verdünnen zu können, befanden ſie ſich natürlich im Innern eines Glasgefäßes, welches man evacuiren konnte. Die erſte Columne unter B enthält die Spannkraft der Luft, gemeſſen durch eine Queckſilberſäule.

Die Zahlen dieſer Tabelle harmoniren recht gut mit der Formel

$$J = y\,(x + B),$$

wo x und y zwei conſtante ſind (ſonſt pflegt man mit x und y die variabeln Größen und nicht die conſtanten Factoren zu bezeichnen), wenn man $x = 2{,}41$ und $y = 1{,}406$ ſetzt.

Ein ſolches Geſetz wäre nun ſeiner Einfachheit wegen ganz annehmbar, ſpätere Verſuchsreihen harmoniren aber nach Knochenhauer's Anſicht nicht ſo gut (obgleich die beobachteten und berechneten Werthe von J nie um ein Ganzes differiren, und die beobachteten Bruchtheile der Elektricitätsmengen, gemeſſen durch Funken der Lane'flaſche, doch nicht ſehr zuverläſſig ſeyn können), ſo daß er ſich veranlaßt ſieht, eine neue Formel mit drei conſtanten

$$J = \frac{y\,(x+B)}{1 + Bz}\,Jn$$

zu conſtruiren, in welchen Jn die Ladung bezeichnet, welche nöthig iſt, um bei 28″ Barometerſtand überzuſchlagen und die ſich den Beobachtungen beſſer anſchließen ſoll.

5) Wenn in einem elektriſchen Luftthermometer, ähnlich dem Rieß'ſchen, kein Draht ausgeſpannt iſt, ſondern wenn in demſelben zwei Kugeln auf eine beſtimmte Diſtanz einander gegenüberſtehen, ſo wird, wenn ein Funken zwiſchen dieſen Kugeln überſchlägt, eine Depreſſion der Flüſſigkeit in der Röhre des Thermometers erfolgen, welche Knochenhauer als ein Maaß für die Quantität der durch die Funken verdrängten Luft anſieht und welche Quantität ſeinen Verſuchen zufolge ſich durch die Formel

$$x = A\,\frac{q^2}{s}$$

ausdrücken laſſen ſoll, in welchem q und s dieſelbe Bedeutung haben, die wir ſpäter bei Beſprechung der Arbeiten von Rieß werden kennen lernen, A aber einen conſtanten Factor bezeichnet.

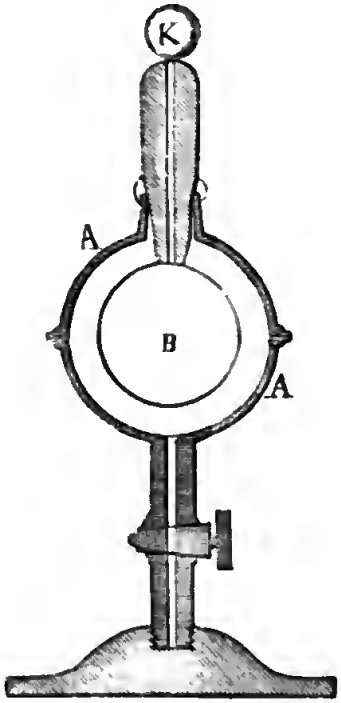
Faraday's Unterſuchungen über gebundene Elektricität. 21 Auch Faraday hat die Bindung und Vertheilung der Elektricität zum Gegenſtande ſeiner Unterſuchungen gemacht. In ſeiner elften Reihe von Experimental-Unterſuchungen über Elektricität (P. A. XLVI. 1) ſucht er nachzuweiſen, daß die Vertheilung nicht die Folge einer elektriſchen Wirkung in die Ferne ſey, ſondern von dem bindenden Körper

aus durch Vermittlung der zwiſchenliegenden materiellen Theilchen bewerkſtelligt werde.

Um zu beweiſen, daß die Vertheilung das Reſultat einer von Theilchen zu Theilchen des trennenden Iſolators fortſchreitende Wirkung ſey, ſucht Faraday darzuthun: 1) daß bei gleicher Entfernung des vertheilenden Körpers und desjenigen, auf welchem durch Vertheilung Elektricität erregt und gebunden iſt, die Stärke der Vertheilung und Bindung noch von der Natur des trennenden Iſolators abhängig ſey, daß durch verſchiedene Iſolatoren hindurch die Bindung unter ſonſt gleichen Umſtänden nicht gleich ſey, daß alſo jedem Iſolator ein eigenthümliches, ſpecifiſches Vertheilungsvermögen zukomme; 2) daß die Vertheilung auch nach krummen Linien ſtattfinden könne.

22 **Specifiſches Vertheilungsvermögen.** Betrachten wir zunächſt das ſpecifiſche Vertheilungsvermögen der Iſolatoren.

Fig. 35.



In Fig. 35 ſtelle *A* eine metallene Hohlkugel dar, die auf einem metallenen Fuße ſteht. In einer oben angebrachten Oeffnung ſteckt dicht ſchließend ein Schellackcylinder, durch deſſen Mitte ein Draht geht, der oben die kleine Metallkugel *K*, unten die Metallkugel *B* trägt. Der Durchmeſſer der Kugel *A* iſt ungefähr 8,5 Centimeter, der der Kugel *B* iſt 6 Centimeter. — Die Kugel *A* beſteht aus zwei, den Magdeburger Halbkugeln ganz ähnlichen Stücken, ſo daß man die obere Hälfte ſammt dem Schellackcylinder und den Kugeln *K* und *B* abheben kann.

Faraday brauchte zu ſeinen Verſuchen zwei ganz gleiche Apparate der Art, die er Vertheilungsapparate nennt.

Man kann einen ſolchen Vertheilungsapparat laden, wie man eine Leidener Flaſche ladet, wenn man *K* mit einer Elektricitätsquelle, *A* aber mit dem Boden in leitende Verbindung ſetzt. *B* repräſentirt alsdann die innere Belegung, *A* die äußere, die Luftſchicht zwiſchen beiden erſetzt die Glasbelegung.

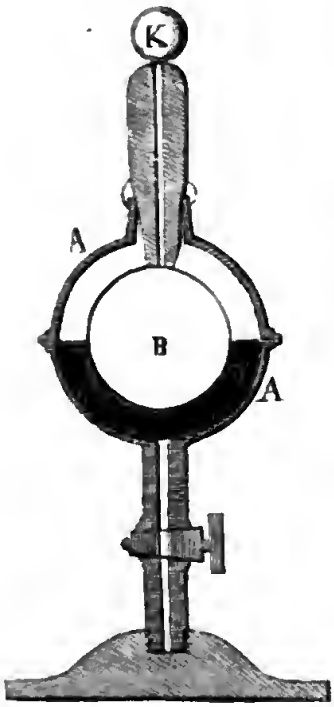
Ein ſolcher Vertheilungsapparat, den ich mit I bezeichnen will, wurde dadurch geladen, daß man *K* mit der Kugel einer geladenen Leidener Flaſche berührt, während *A* gut abgeleitet war. Begreiflicherweiſe mußte, wie dies ja auch bei der inneren Belegung einer Leidener Flaſche der Fall iſt, auf *B* und *K* ein Ueberſchuß freier Elektricität ſeyn, deſſen Stärke an

einer Coulomb'schen Drehwage gemessen wurde. Um die Mittelpunkte der beiden Kugeln der Drehwage in einem Winkelabstande von 30° zu erhalten, war eine Torsion des Fadens von 250° nöthig.

Nun wurde mit dem Knopfe *K* des Vertheilungsapparates I der Knopf *K* eines ganz gleichen Vertheilungsapparates II berührt, während dessen äußere Kugel gut abgeleitet war. Die Ladung, welche vorher dem Apparate I allein mitgetheilt war, wurde auf diese Weise zwischen den beiden Vertheilungsapparaten getheilt. — Nach dieser Theilung wurde die Stärke der freien Elektricität der inneren Belegung für jeden der beiden Vertheilungsapparate gemessen; der ersteren entsprach eine Torsion von 124°, der andern eine Torsion von 122° an der Drehwage, um die Kugeln, wie immer, auf einem Winkelabstande von 30° zu erhalten; nach der Theilung war also die freie Elektricität auf der innern Belegung sehr nahe gleich, und zwar, wie vorauszusehen war, halb so groß, als auf I vor der Theilung, es hat sich also die Ladung auf die beiden Vertheilungsapparate ganz gleich vertheilt.

Nun wurde in dem Apparate II die Hälfte der Luft durch ein anderes dielektrisches Mittel (so nennt nämlich Faraday diejenigen Mittel, durch welche hindurch eine elektrische Vertheilung stattfindet) ersetzt. Zunächst wurde Schellack versucht. Die obere Hälfte des Apparates II wurde abgehoben, in die untere Hälfte der Kugel *A* eine halbkugelförmige Schale von Schellack eingelegt, und nun die obere Hälfte des Apparates wieder aufgesetzt, so daß der Zwischenraum zwischen der unteren Hälfte beider Kugeln durch Schellack ausgefüllt war, wie dies Fig. 36 angedeutet ist.

Fig. 36.



Der Apparat I, welcher unverändert, wie beim vorigen Versuch blieb, wurde ganz in der früheren Weise geladen, und die freie Elektricität der innern Belegung an der Torsionswage gemessen. Auf diese Weise gab

der Apparat I . . . . . 290°

nun wurde die Ladung zwischen dem Apparate I und II getheilt, nach der Theilung gab

der Apparat I . . . . . 114°
der Apparat II . . . . . 113°

Auch hier ist die freie Elektricität der innern Belegung beider Apparate

nach der Theilung ſehr nahe gleich, allein ſie iſt weit geringer als die Hälfte der freien Elektricität der inneren Belegung des Apparates I vor der Theilung; daraus geht nun hervor, daß der Apparat II mehr als die Hälfte der Elektricität des Apparates I aufgenommen hat, ohne daß deshalb die freie Elektricität auf II größer wäre als auf I, und daraus ſchließt Faraday, daß durch Schellack hindurch eine kräftigere Bindung ſtattfinde.

Bezeichnen wir die Menge der freien Elektricität der inneren Belegung von I vor der Theilung mit 290, ſo iſt die Geſammtmenge der hier vorhandenen Elektricität $n.290$; nach der Theilung bleibt nur noch $n.114$; es iſt alſo $n(290 - 114) = n.176$ an den Apparat II abgegeben worden. Hier aber findet nun nach Faraday's Anſicht ein anderes Verhältniß zwiſchen der gebundenen und freien Elektricität Statt; die freie Elektricität iſt 113, die gebundene $n'113$, wir haben alſo

$$n'113 = n.176$$

alſo

$$n' = n.\frac{176}{163} = n.1{,}55;$$

durch Schellack hindurch findet alſo eine 1,55mal ſtärkere Bindung Statt als durch Luft, oder wie Faraday ſich ausdrückt: Schellack hat ein 1,55mal größeres ſpecifiſches Vertheilungsvermögen als Luft.

Durch ähnliche Verſuche fand Faraday das ſpecifiſche Vertheilungsvermögen des Schwefels 2,24 mal ſo groß als das der Luft.

Für die verſchiedenartigſten Gaſe fand Faraday das ſpecifiſche Vertheilungsvermögen gleich dem der Luft. Um verſchiedene Gaſe in den Apparat bringen zu können, war der Fuß durchbohrt und mit einem Hahn verſehen; man konnte ihn auf eine Luftpumpe ſchrauben, evacuiren und dann ein anderes Gas einlaſſen.

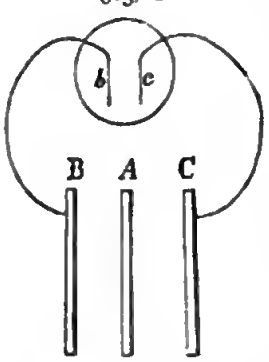
Auch Verdünnung und Erwärmung der Luft brachte keine Veränderung in ihrem ſpecifiſchen Vertheilungsvermögen hervor.

Faraday führt zur Begründung ſeiner Anſicht über das ſpecifiſche Vertheilungsvermögen noch weitere Verſuche an.

Es ſey *A*, Fig. 37, eine iſolirte Metallſcheibe, die in der Mitte zwiſchen zwei anderen gleichfalls iſolirten Metallſcheiben *B* und *C* aufgeſtellt iſt, *B* ſowohl als *C* wurden $\frac{5}{4}$ Zoll weit von *A* aufgeſtellt. Mit *C* war ein Draht verbunden, der mit dem Goldblättchen *c* endigte, ebenſo endigte ein an *B* befeſtigter Draht mit einem Goldblättchen *b*. — Die beiden Goldblättchen hingen 2″ weit von einander in einer Glasflaſche.

Es wurden jetzt *B* und *C* ableitend berührt, und der Platte *A* eine ſchwache poſitive Ladung ertheilt, wodurch *B* und *C* mit — *E* geladen

Fig. 37.



wurden. — Die Verbindung von *B* und *C* mit dem Boden wurde aufgehoben, so daß jetzt diese beiden Platten wieder isolirt waren, wobei die Goldblättchen *b* und *c* nach wie vor parallel neben einander hängen blieben.

Nun wurde eine Schellackplatte von $^3/_4$ Zoll Dicke in 4 Quadratzoll Größe an einem saubern Faden weißer Seide hängend, nachdem sie sorgfältig von jeder Ladung befreit worden war, zwischen die Platten *A* und *B* gebracht. Sogleich wurde das elektrische Verhalten der drei Platten gestört und eine Anziehung zwischen den Goldblättern hervorgerufen. Bei Fortnahme des Schellacks verschwand diese Anziehung wieder. Der Schellack mit einem empfindlichen Coulomb'schen Elektrometer untersucht, zeigte sich auch jetzt noch ohne Ladung.

Darin findet nun Faraday wieder eine Bestätigung seiner Ansicht, er erklärt den Hergang folgendermaßen: Sobald die Schellackplatte zwischen *A* und *B* eingeschoben wird, findet auf *B* eine stärkere Ladung negativer Elektricität Statt, es wird mehr positive zurückgestoßen, die sich nach *b* verbreitet; weil aber *A* stärker gegen *B* wirkt als vorher, so muß auch negative Elektricität in *C* frei werden, *c* wird also freie — *E* enthalten, während auf *b* freie + *E* ist, daher die Anziehung der Blättchen. Wie Faraday geprüft hat, daß auf *b* und *c* wirklich diejenige Elektricität frei wird, wie es seiner Theorie zufolge seyn muß, findet sich in seiner Abhandlung nicht angegeben.

Die Faraday'schen Versuche sind vollkommen richtig, aber es scheint mir, als habe er diese Versuche falsch gedeutet und Schlüsse aus ihnen gezogen, zu denen er nicht berechtigt war. — Hier die Gründe für meine Behauptung:

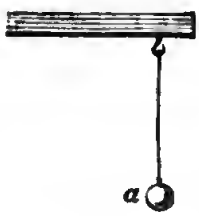
Wenn einem isolirten elektrischen Körper *A* ein zweiter Leiter *B* gegenübersteht, der mit dem Boden in leitender Verbindung ist, so wird auf *B* eine bestimmte Menge Elektricität gebunden. Auf *A* ist dann ein Theil der hier befindlichen *E* durch die entgegengesetzte auf *B* gebunden, ein Theil ist frei. Wird nun Schellack zwischen *A* und *B* gebracht, so ist nun auf *A* mehr Elektricität gebunden und weniger frei als vorher; dies ist die Thatsache, welche aus den Versuchen Faraday's mit dem Vertheilungsapparat hervorgeht. Er schließt aber weiter und sagt: durch den Schellack hindurch findet eine stärkerr Vertheilung Statt, und diese Behauptung hat er durch keinen Versuch bewiesen; hätte er diese Behauptung rechtfertigen wollen, so hätte er zeigen müssen, daß auf *B* bei gleicher Ladung von *A* mehr *E* gebunden wird, wenn Schellack sich zwischen bei-

den befindet, als wenn Luft der ſie trennende Iſolator iſt. Der in Fig. 37 angedeutete Verſuch iſt eben ſo wenig geeignet wie der Verſuch mit dem Vertheilungsapparat, um hierüber Aufſchluß zu geben.

Der folgende Verſuch dürfte aber wohl geeignet ſeyn die Frage zur Entſcheidung zu bringen.

Unter einer iſolirt aufgehängten elektriſirten Metallkugel *a*, Fig. 38, von 1 bis 2 Zoll Durchmeſſer, ſtelle man ein Goldblatt- oder Strohhalmelektrometer in ſolcher Entfernung auf, daß man eine namhafte Divergenz enthält. — Die Kugel *a* ſey mit $+E$ geladen, ſo iſt in der Platte des Elektrometers *b* $-E$ gebunden, die von *a* abgeſtoßene $+E$ iſt in die Pendel getrieben, daher ihre Divergenz.

Fig. 38.



Nun ſchiebe man eine Schellackplatte zwiſchen *a* und *b* ein.

Iſt Faraday's Anſicht richtig, ſo muß durch den Schellack hindurch eine ſtärkere Bindung ſtattfinden als vorher; in der Elektrometerplatte muß noch $-E$ gebunden werden, es muß alſo auch mehr $+E$ in die Pendel getrieben werden, die Divergenz derſelben muß alſo wachſen.

Der Verſuch zeigt aber, daß die Divergenz der Pendel abnimmt, ſobald man die Schellackplatte einſchiebt.

Durch den Schellack hindurch findet alſo entſchieden keine ſtärkere Bindung Statt als durch Luft.

Wenn von der auf *a* befindlichen Elektricität nach dem Einſchieben der Schellackplatten ein größerer Theil gebunden iſt als vorher, ſo rührt dies alſo offenbar nur von einer gegenſeitigen Wirkung zwiſchen *a* und der Schellackplatte, keineswegs aber daher, daß durch Schellack eine ſtärkere Vertheilung ſtattfindet.

Einen dieſem ähnlichen Verſuch hat ſchon Knochenhauer angeſtellt, er hat aber die Bedeutung deſſelben durchaus nicht richtig erkannt.

Statt des Elektrometers mit zwei Pendeln wandte Knochenhauer ein Säulenelektrometer an (P. A. LI, 126). Während dem Leiter *a* (bei Knochenhauer's Verſuchen eine Metallplatte ſtatt einer Kugel, was aber für den Erfolg ganz gleichgültig iſt) eine ſchwache poſitive Ladung ertheilt wurde, war die Platte des Säulenelektrometers ableitend berührt; in dieſer Platte war alſo $-E$ gebunden. Schob er nun eine Schellackplatte zwiſchen die Elektrometerplatte und den elektriſchen Leiter *a* ein, ſo erhielt er einen Ausſchlag des Goldblatts, und zwar behauptet er: »daß unmittelbar mit dem Einſchieben (der Schellackplatte) das Goldblättchen des Elektrometers frei poſitive Elektricität anzeigte, ſo daß alſo

jetzt auf der unteren Scheibe mehr negative gebunden war;« dies wäre freilich ganz mit Faraday's Ansicht übereinstimmend. Allein dies Resultat steht mit dem von mir angestellten Versuche mit dem Strohhalmelektrometer im directen Widerspruch. Nach meinem Versuche mußte ich erwarten, daß der Ausschlag freie negative Elektricität des Goldblättchens zeigte.

Es war zu vermuthen, daß sich Knochenhauer in Beziehung auf die Pole seines Goldblattelektrometers geirrt hat, daß er einen negativen mit einem positiven Ausschlag verwechselte.

Um darüber in's Reine zu kommen, wiederholte ich Knochenhauer's Versuche. Die Kugel *a* wurde mit $+E$ geladen, und als eine Schellackplatte zwischen *a* und dem Elektrometer eingeschoben wurde, bewegte sich das Goldblättchen nach dem positiven Pol der Säule, d. h. nach demselben, nach welchen es ausschlägt, wenn man von Oben eine geriebene Harzstange nähert, das Goldblättchen erhielt also durch das Einschieben der Schellackplatte freie $-E$.

Wäre Knochenhauer's Behauptung die richtige, so müßte das Goldblättchen beim Einschieben der Schellackplatte (während *a* positiv ist) nach derselben Seite ausschlagen, nach welcher es ausschlägt, wenn man dem Elektrometer von Oben eine mit Seide geriebene Glasstange nähert. Das Nähern der geriebenen Glasstange brachte aber einen Ausschlag hervor, welcher dem entgegengesetzt war, der das Einschieben der Schellackplatte bewirkte. Somit ist Knochenhauer's Irrthum in Beziehung auf die Natur des Ausschlages dargethan.

Faraday's Ansicht, daß durch Schellack hindurch eine stärkere Bindung stattfinde als durch Luft, ist demnach entschieden unrichtig. Die angeführten Versuche mit dem Strohhalmelektrometer sowohl als mit dem Säulenelektrometer widersprechen ihm direct.

Wie aber sind alle die angeführten Erscheinungen zu erklären? Ich erlaube mir darüber nur einige Andeutungen, welche vielleicht geeignet seyn dürften den Weg anzudeuten, welchen man einschlagen muß, um die Frage zur definitiven Entscheidung zu bringen.

Schiebt man zwischen der elektrisirten Kugel *a*, Fig. 38, und dem Strohhalmelektrometer einen nicht isolirten Leiter ein, so fallen die Pendel ganz zusammen. Es ist dies nach den bekannten Gesetzen nicht anders zu erwarten.

Schiebt man zwischen *a* und dem Elektrometer eine isolirte Metallscheibe ein, so findet eine bedeutende Verminderung der Divergenz der Pendel Statt, sie fallen jedoch nicht ganz zusammen. Es ist dies jedenfalls die Folge einer vertheilenden Wirkung, welche *A* auf die eingeschobene isolirte Metallscheibe ausübt.

Schiebt man zwiſchen *a* und dem Elektrometer eine Schellackſcheibe ein, ſo findet ebenfalls eine Verminderung der Divergenz Statt, doch nicht ſo bedeutend wie beim Einſchieben der iſolirten Metallſcheibe. Es ſcheint dies darauf hinzudeuten, daß der elektriſche Körper *a* auch im Schellack eine Vertheilung bewirkt, wenn auch nicht ſo ſtark wie in einem guten Leiter. In der That wiſſen wir ja auch, daß Schellack zwar ein ſehr ſchlechter Leiter, aber doch kein abſoluter Iſolator iſt.

Etwas ähnliches ſcheint auch Knochenhauer in dem citirten Aufſatze andeuten zu wollen.

Jedenfalls iſt dieſer Gegenſtand einer näheren Unterſuchung zu unterwerfen; nur ſoviel ſteht feſt, daß durch ſtarre Iſolatoren hindurch keine ſtärkere Bindung ſtattfindet als durch Luft, wie dies Faraday's Anſicht iſt.

23 **Vertheilung in krummen Linien.** Sehen wir nun wie Faraday die Vertheilung in krummen Linien darzuthun ſucht.

Ein Schellackcylinder von 0,9 Zoll Durchmeſſer, welcher vertikal aufgeſtellt werden kann und oben eine Vertiefung hat, wird durch Reiben elektriſch gemacht, und eine Meſſingkugel von 1 Zoll Durchmeſſer aufgelegt. Nun wurde eine iſolirte Probekugel an die mit *d*, *c*, *b* und *e* bezeichneten Stellen gebracht, einen Augenblick ableitend berührt, und dann unterſucht, ob, und welche elektriſche Ladung ſie habe. Es ergab ſich, daß dieſe Probekugel ſowohl bei *d* und *c*, als auch bei *b* und *e*, eine poſitive Ladung erhalten hatte.

Fig. 39.

Das Reſultat dieſer Verſuche hat nicht das mindeſte Auffallende, man hätte den Erfolg wohl vorausſehen können. Die Kugel *B* wird durch Vertheilung poſitiv elektriſch; auf die Probekugel, wo ſie ſich auch befinden mag, alſo auch in *b* und *e*, wirkt gleichzeitig die $-E$ des Schellackcylinders und die gebundene $+E$ der Kugel *B*; die Wirkung des Schellackcylinders iſt überwiegend, folglich wird die Probekugel ſowohl in *b* als auch in *e* mit gebundener $+E$ geladen werden müſſen.

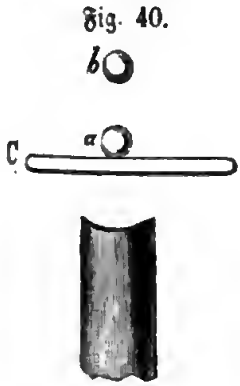
Es iſt dies ein ganz analoger Fall, wie der auf Seite 35 beſprochene.

Daß Faraday hier etwas Beſonderes findet, was mit den bisherigen Vorſtellungen über die Wirkung der Elektricität in die Ferne im Widerſpruch ſtehen ſoll, iſt ein Beweis, daß er von den Grundſätzen der ſtatiſchen Elektricität durchaus keine klare Vorſtellung hat. Er macht ſich von dem Hergang der Sache folgende Vorſtellung: Die Probekugel iſt in *b* ſowohl als in *e* durch Vertheilung elektriſch geworden, da man nun aber weder von *b* noch von *e* aus den Schellackcylinder ſehen kann, ſo

muß alſo die Vertheilung um *B* herum durch die Luft, es muß alſo eine Vertheilung in krummen Linien ſtattgefunden haben. Um zu dieſer Erklärung kommen zu können, muß Faraday natürlich annehmen, daß durch einen Leiter hindurch gar keine vertheilende Wirkung ſtattfinden könne.

Daß durch Metall hindurch keine Vertheilung ſtattfinden könne, dafür glaubt Faraday ſogar einen Beweis liefern zu können. Ueber den Schellackcylinder wurde eine Metallſcheibe *C* Fig. 40 gehalten, und für einen Augenblick ableitend berührt, ſo daß ſie ſich durch Vertheilung mit + *E* laden mußte. Wurde nun eine Probeſcheibe oder eine kleine Probekugel in *a* dicht über die Mitte der Scheibe gehalten und für einen Augenblick ableitend berührt, ſo zeigte ſie doch durchaus keine Ladung, woraus Faraday ſchloß, daß die Elektricität des Schellackcylinders nicht durch die Metallſcheibe hindurch vertheilend wirken kann, erhebt man aber die Probekugel etwa bis *b*, ſo empfängt ſie hier eine poſitive Ladung, welche nach Faraday's Anſicht daher rührt, daß die Vertheilung in krummen Linien um die Platte herum fortſchreitend auf den Punkt *b* wirken kann.

Fig. 40.



Denſelben Verſuch in etwas anderer Form hat auch Fechner in der ſchon oben Seite 37 angeführten Abhandlung (P. A. LI. 321) beſprochen, er hat gezeigt, daß die Erſcheinung, wie ſie auch Faraday beſchreibt, eine nothwendige Folge der bekannten Geſetze der Bindung und Vertheilung ſind.

Fechner ſagt:

»Daß das Maximum der Wirkung in einiger Entfernung von der »oberen Scheibe*) eintritt, kann nichts auffallendes haben. Für alle »Punkte der oberen Scheibe muß die Wirkung der negativen Elektricität, »die ſie enthält, genau im Gleichgewicht ſeyn mit der Wirkung der poſitiven Elektricität der unteren Scheibe, ſonſt müßte mehr oder weniger »Elektricität in der oberen Scheibe zerſetzt werden, und ſich mehr anſammeln als es der Fall iſt. Erhebt man aber die Prüfungsplatte über »die obere Scheibe, ſo nimmt ihr Abſtand von den Punkten der oberen »Scheibe in anderm Verhältniß zu, als von denen der untern Scheibe, daher fängt dieſe (nämlich die Wirkung der unteren Scheibe) an zu über-

*) Fechner hatte ſtatt des Schellackcylinders eine poſitiv elektriſche iſolirte Metallplatte, die er die untere nennt, angewandt.

»wiegen. Inzwiſchen kann die Wirkungszunahme mit der Erhebung der »Prüfungsplatte nur bis zu einem gewiſſen Maximum gehen, weil bei »großer Entfernung die Wirkung jeder Scheibe für ſich ſchon verſchwindet.«

Dieſe Erſcheinungen ſind alſo durchaus kein Beweis für die Vertheilung in krummen Linien, und überhaupt läßt ſich behaupten, daß Faraday für die Anſicht, daß die Vertheilung durch die Vermittlung der Theilchen des zwiſchenliegenden Iſolators vor ſich gehe, durchaus keinen haltbaren Beweis geliefert hat.

24 **Faraday's Vertheilungstheorie.** Faraday ſucht in der 12ten und 13ten Reihe ſeiner Experimentalunterſuchungen (P. A. XLVII. und XLVIII.) ſeine Vertheilungstheorie noch durch die Betrachtung der verſchiedenen Formen der elektriſchen Entladung zu unterſtützen. Er klaſſificirt die verſchiedenen Entladungsarten, indem er ſie eintheilt in Entladung durch Leitung, elektrolytiſche Entladung, zerreißende Entladung (Funken, Büſchel u. ſ. w.) und fortführende Entladung.

Bei der Betrachtung der Entladung durch Leitung ſucht Faraday darzuthun, daß der Unterſchied zwiſchen Iſolatoren und Leitern nur ein quantitativer ſey, eine Wahrheit, die meines Wiſſens noch Niemand in Zweifel gezogen hat.

Der elektrolytiſchen Ladung, ſagt Faraday, geht eine vertheilende Wirkung durch das Elektrolyt hindurch voraus; der Vertheilungszuſtand iſt in der That ein nothwendiger Vorläufer der Entladung, der Zerſetzung geht ein Polariſations- ein Spannungszuſtand den Theilchen der zu zerſetzenden Flüſſigkeit voraus. — Auch dagegen iſt nichts einzuwenden.

Für die zerreißende Entladung ſucht Faraday gleichfalls nachzuweiſen, daß die Theilchen des Di-elektriums, durch welches hindurch die Entladung, ſey es nun in Form von Funken oder Büſcheln, ſtattfindet, ſich in einem Spannungs- oder Polariſationszuſtande befinden, von welchem übrigens Faraday trotz der unendlich weitläufigen Beſprechung des Gegenſtandes keineswegs eine klare Vorſtellung giebt. Seine theoretiſchen Betrachtungen über dieſen Punkt ſind eben ſo gedehnt, wie ſie dunkel und unverſtändlich ſind, mir wenigſtens iſt es nicht gelungen, mir eine klare Vorſtellung davon zu machen, wie ſich wohl Faraday den Polariſationszuſtand der iſolirenden Theilchen denkt, welchen die elektriſche Entladung, ſey es in Form von Funken oder Büſcheln, vorausgeht.

Wenn wir uns von einem ſolchen Spannungs- oder Polariſationszuſtande der Lufttheilchen, welche der Funken- oder Büſchelentladung vorausgeht, auch keine klare Vorſtellung machen können, ſo iſt doch die Exiſtenz eines ſolchen Zuſtandes keineswegs zweifelhaft, ſo wenig wie eine ſolche

Annahme mit den bisherigen elektrischen Theorien im Widerspruch steht; Faraday aber geht weiter; er sieht in diesem Polarisationszustande einen Beweis, daß die elektrische vertheilende Wirkung, welche durch die Luft oder das sie ersetzende Di-elektricum hindurch stattfindet, durch diesen Polarisationszustand vermittelt werde. Für die Richtigkeit dieser Ansicht ist jedoch Faraday den Beweis vollständig schuldig geblieben.

In der Absicht, seine Vertheilungstheorie dadurch zu begründen, führt Faraday viele Versuche über Funken und Büschel an, die, wenn sie auch vor der Hand noch keine so hohe theoretische Bedeutung haben, doch als interessante und wichtige Thatsachen an einer andern Stelle besprochen werden sollen.

Da Leitung und Isolation nur quantitativ verschiedene Zustände sind, so meint Faraday, daß auch in besser leitenden Flüssigkeiten eine fortführende Entladung stattfinden könnte, wenn nur eine hinlängliche Quantität von Elektricität vorhanden wäre. Der folgende Versuch möchte diese Ansicht wohl unterstützen.

Zwei Platindrähte, welche die Pole einer starken Volta'schen Batterie bildeten, wurden nahe und neben einander in eine starke Glasröhre mit destillirtem Wasser, welches einige Fäserchen enthielt, hermetisch eingeschmolzen. Als vermöge des in Folge der fortdauernden Gasentwickelung verstärkten Druckes die Blasen an dem Elektroden so klein geworden waren, daß sie nur schwach aufsteigende Ströme anzeigten, konnte bemerkt werden, daß die Fäserchen zwischen beiden Drähten angezogen und abgestoßen wurden, wie sie es zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Flächen in Luft oder Terpentinöl geworden wären; sie bewegten sich so rasch, daß sie die Blasen und Ströme, welche diese zu bilden suchten, verschoben und störten. Nun glaubt Faraday, daß es kaum bezweifelt werden könne, daß unter ähnlichen Umständen bei einem reichlichen Zuflusse von Elektricität, besonders von hinlänglicher Spannung, fortführende Ströme gebildet worden wären. Die Anziehungen und Abstoßungen der Fäserchen waren in der That die Elemente solcher Ströme, und deshalb ist Wasser, obgleich es als Leiter fast unendlich über Luft und Terpentinöl steht, ein Medium, in welchem ähnliche Ströme stattfinden können.

Faraday's Theorie behauptet, nicht über die Folgerungen hinsichtlich eines Vacuums zu entscheiden. Nach seiner Ansicht sind die elektrischen Erscheinungen, wie die der Vertheilung, Leitung, Isolation bedingt und erzeugt worden durch die Wirkung angrenzender Körpertheilchen, wobei das nächste Theilchen als ein angrenzendes zu betrachten ist; ferner nimmt Faraday an, daß diese Theilchen polarisirt werden, und daß sie nur durch Wirkung der angrenzenden und intermediären Theilchen in die Ferne wirken.

Allein angenommmen, daß in die Bahn der Vertheilungslinien ein Vacuum trete, ſo folgt nicht aus dieſer Theorie, ſagt Faraday, daß die Theilchen auf der andern Seite deſſelben nicht auf einander wirken können. Geſetzt, ſagt er, es ſey einem poſitiv elektriſirten Theilchen möglich, im Mittelpunkte eines Vacuums von 1 Zoll Durchmeſſer zu exiſtiren, ſo hindert nichts in meiner Theorie das Theilchen, in der Entfernung von ½ Zoll auf alle die Grenzfläche der Kugel bildende Theilchen zu wirken, mit einer Kraft, gemäß der bekannten Geſetze der Quadrate der Entfernung.

Hier nimmt alſo Faraday doch wieder die actio in distans an.

In der vierzehnten Reihe von Experimental-Unterſuchungen (P. A. Ergänzungsband von 1842) ſtellt Faraday ſeine Anſichten über die Natur der elektriſchen Kräfte und namentlich über den die Vertheilung begleitenden Spannungszuſtand etwas zuſammen; ich will dieſe Zuſammenſtellung wörtlich anführen:

»1669. Die Theorie (nämlich Faraday's Theorie) nimmt an, daß »alle Theilchen, ſowohl von iſolirenden als leitenden Subſtanzen, als »Ganze Leiter ſind.

»1670. Daß ſie in ihrem Normalzuſtande nicht polar ſind, es aber »durch den Einfluß benachbarter geladener Theilchen werden können, und »der Polarzuſtand in einem Augenblicke entwickelt werden kann, genau »wie in einer iſolirten leitenden Maſſe von vielen Theilchen.

»1671. Daß die Theilchen polariſirt in einem Zwangszuſtande befind»lich ſind, und in ihren normalen oder natürlichen Zuſtand zurückzukeh»ren ſuchen.

»1672. Daß ſie, da ſie als Ganze Leiter ſind, leicht geladen werden »können, entweder maſſenhaft oder polar (bodily or polarly).

»1673. Daß Theilchen, welche in der Linie der Vertheilungswirkung »an einander liegen, ihre Polarkräfte mehr oder weniger leicht »einander mittheilen oder auf einander übertragen können.

»1674. Daß in denen, die dieſes weniger leicht thun, die Polarkräfte »auf einen höheren Grad ſteigen, bevor dieſe Uebertragung oder Mittheilung ſtattfindet.

»1675. Daß die leichte Mittheilung der Kräfte zwiſchen angrenzenden »Theilchen: Leitung, und die ſchwierige: Iſolation ausmacht, daß »Leiter und Iſolatoren Körper ſind, deren Theilchen von Natur die Eigen»ſchaft beſitzen, ihre reſpectiven Kräfte leicht oder ſchwierig mitzutheilen, »und daß die Körper darin gerade ſo verſchieden ſind, als in andern na»türlichen Eigenſchaften.

»1676. Daß die gewöhnliche Vertheilung das Reſultat iſt der Ein»wirkung der mit erregter oder freier Elektricität geladenen Subſtanz auf

»isolirende Substanz, und in dieser den entgegengesetzten Zustand zu glei»chem Betrage zu erregen sucht.

»1677. Daß sie [die geladene Substanz (P.)] dies nur vermag durch »Polarisation der dicht angrenzenden Theilchen, welche dasselbe bei den näch»sten bewirken, diese wiederum bei den folgenden, und daß so die Wirkung »fortgepflanzt wird von dem erregten Körper zu der nächsten leitenden »Masse, und daselbst die entgegengesetzte Kraft sichtbar macht, in Folge des »Effects der Mittheilung, welche in der leitenden Masse nach der Polari»sation der Theilchen (of that body) hinzutritt (1675).

»1678. Daß Vertheilung deshalb nur durch Isolatoren hin statt»finden kann; daß Vertheilung Isolation ist, und die nothwendige Folge »des Zustandes der Theilchen und der Art, wie der Einfluß elektrischer »Kräfte quer durch solche isolirende Media fortgepflanzt oder durchgelassen »wird.«

»1679. Die Theilchen eines isolirenden Di-elektricum, das unter Ver»theilung steht, können verglichen werden mit einer Reihe kleiner Magnet»nadeln, oder, noch richtiger, mit einer Reihe kleiner isolirter Conductoren. »Wenn der Raum rings um eine geladene Kugel gefüllt wäre mit einem »Gemeng von einem isolirenden Di-elektricum, wie Terpentinöl oder Luft, »und kleinen kugelförmigen Leitern, wie Schrot, in der Weise, daß diese »etwas von einander abständen, um isolirt zu seyn, so würden diese in »ihrem Zustande und ihrer Wirkung genau dem ähneln, was ich glaube, »der Zustand und die Wirkung der Theilchen des isolirenden Di-elektricum »selbst ist. Wäre der Körper geladen, so würden alle diese kleinen Leiter »polar; würde man die Kugel entladen, so würden alle in ihren Normal»zustand zurückkehren, um bei Wiederladung der Kugel abermals polarisirt »zu werden. Der mittelst Vertheilung quer durch solche Theilchen in einer »entfernten leitenden Masse erregte Zustand würde von entgegengesetzter »Art seyn, und im Betrage genau gleich der Kraft der vertheilenden Ku»gel. Es würde daselbst eine Seitenverbreitung der Kraft (1224. 1297) »stattfinden, weil jedes polarisirte Kügelchen in einer thätigen oder Span»nungs-Beziehung zu allen ihm benachbarten stände, gerade so, wie ein »Magnet auf zwei oder mehre benachbarte Magnetnadeln wirken kann, »und diese wiederum auf eine noch größere Zahl jenseits liegende wirken »können. Hieraus würden krumme Linien der Vertheilungskraft entste»hen, wenn der vertheilte Körper in solch einem gemischten Di-elektricum »eine unisolirte metallische Kugel (1219 ꝛc.) oder andere gehörig geformte »Masse wäre. Solche krummen Linien sind die Folgen zweier elektrischen »Kräfte, so geordnet, wie ich es annehme; und daß die Vertheilungskraft »nach solchen krummen Linien gerichtet werden kann, ist der strengste Be-

»weis des Daſeyns der beiden Kräfte und des Polarzuſtands der di-elek-»triſchen Theilchen.

»1680. Ich glaube, es iſt einleuchtend, daß in dem angegebenen Falle »die Wirkung in die Ferne nur aus einer Wirkung der anliegenden lei-»tenden Theilchen übergehen kann. Kein Grund iſt da, warum der ver-»theilende Körper entfernte Leiter polariſiren oder afficiren und die be-»nachbarten, namentlich die Theilchen des Di-elektricums unafficirt »laſſen ſollte; alle Thatſachen und Verſuche mit leitenden Maſſen oder »Theilchen von beträchtlicher Größe widerſprechen einer ſolchen Voraus-»ſetzung.«

Faraday ſtellt ſich alles dem eben mitgetheilten zu Folge ungefähr wie ein Aggregat kleiner Leiter vor, die durch eine iſolirende Subſtanz getrennt ſind; die vertheilende Wirkung von einem Theilchen zum andern muß er ſich alſo gerade ſo vorſtellen, wie man ſich gewöhnlich den Vorgang der Vertheilung zwiſchen zwei Leitern denkt; zwiſchen zwei Theilchen des Iſolators muß er alſo auch eine actio in distans in der gewöhnlichen Art annehmen. Da er alſo in letzter Inſtanz doch wieder eine Wirkung in die Ferne und iſolirende Zwiſchenräume annehmen muß, ſo iſt wahrlich wenig Grund vorhanden, in dieſem Falle die bisher gangbaren Vorſtellungen fallen zu laſſen, die allerdings manches Mangelhafte haben mögen, die man aber doch ſo lange wird beibehalten müſſen, bis ſchlagendere Beweiſe nicht allein ihre Unzulänglichkeit, ſondern auch ihre Unrichtigkeit darthun.

Im weiteren Verlaufe der vierzehnten Reihe beobachtet Faraday das Vertheilungsvermögen kryſtalliſirter Körper nach verſchiedenen Richtungen hin. — Nach ſeinen Vorſtellungen über ſpecifiſches Vertheilungsvermögen wäre es wohl denkbar, daß kryſtalliſirte Körper nicht nach allen Richtungen hin gleiches Vertheilungsvermögen haben, daß z. B. Bergkryſtall oder Kalkſpath in der Richtung ihrer optiſchen Axe ein größeres oder geringeres Vertheilungsvermögen hätten, als rechtwinklig zu derſelben. Faraday's Verſuche laſſen die Frage durchaus unentſchieden, indem ſich in den meiſten Fällen nur höchſt geringe Unterſchiede zeigten, in andern Fällen aber, wo ſich größere Differenzen ergaben, farbige Schichten im Kryſtall, Sprünge und dergleichen eine ſtörende Wirkung gehabt haben können. Ich halte es nicht für nöthig, hier mehr ins Einzelne zu gehen.

Faraday's Anſichten über die elektriſche Vertheilung mußten ihm nothwendig die Frage aufdrängen, ob die magnetiſchen Anziehungen und Abſtoßungen, wie man bisher annahm, einer Wirkung in die Ferne zuzuſchreiben ſind, oder ob auch der Magnetismus in ähnlicher Weiſe durch die Vermittelung intermediärer Theilchen in die Ferne wirke, analog, wie er es ſich bei der Vertheilung der ſtatiſchen Elektricität denkt.

Die Verſuche, welche Faraday zur Löſung dieſer Frage anſtellte, ga-

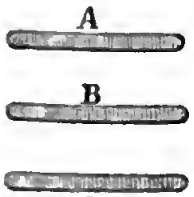
den durchaus negative Resultate, mochte er nun Schellack-, Schwefel- oder Kupferplatten als Zwischenkörper anwenden. Es war hier kein Zeichen vom Einfluß intermediärer Theilchen zu erlangen.

Wenn auch die ersten Versuche nicht dafür sprechen, daß der Magnetismus durch die Vermittelung zwischenliegender Theilchen in die Ferne wirke, so wäre es doch denkbar, daß ein Magnet dennoch auch alle Theilchen der ihn umgebenden nicht magnetischen Körper afficire, sie in einen eigenthümlichen Spannungszustand versetze, ähnlich dem Spannungszustande des Di-elektricums, durch welches hindurch Vertheilung von einem Leiter zu einem andern stattfindet, und sicherlich ist Faraday durch das Bestreben, Beweise für einen solchen Zustand aufzufinden, zur Entdeckung der Drehung der Polarisationsebene durch Magnetpole und durch galvanische Ströme, so wie des Diamagnetismus geleitet worden, Entdeckungen, die allein hinreichen würden, seinen Namen in der Geschichte der Wissenschaft unsterblich zu machen.

Munck af Rosenschöld, über Vertheilung und Bindung. Im 69sten Bande von Poggendorff's Annalen findet sich ein Aufsatz von Munck af Rosenschöld, in welchem ebenfalls Vertheilung und Bindung der Elektricität besprochen wird. Bei seinen etwas gedehnten Betrachtungen, in welchen er natürlich auch viel Bekanntes zur Sprache bringt, geht er von der richtigen Ansicht über Vertheilung aus, welche auch von Rieß und Fechner vertreten worden ist.

Folgendes möchte wohl das wichtigste aus Rosenschöld's Aufsatze seyn.

Fig. 41.



Die Scheibe A, Fig. 41, sey elektrisch und wirke vertheilend auf B und C. — Die auf A vorhandene Elektricitätsmenge sey E, so wird sie auf dem mit einem dünnen Drahte ableitend berührten B die Elektricitätsmenge $= mE$ binden. Nun wird die Scheibe C in den elektrischen Schatten von B gebracht und ebenfalls ableitend berührt, so wirkt auf diese Scheibe sowohl A als auch B. Bezeichnen wir mit m' den Bindungscoefficienten, welchem die Entfernung zwischen B und C zukommt, so wird von B aus in C gebunden $m' \,.\, mE$, da mE die auf B vorhandene Elektricität bezeichnet, allein von A aus wird auf C gebunden $= m'' E$, wenn m'' den der Entfernung von A nach C entsprechenden Bindungscoefficienten bezeichnet; auf C wird also gebunden seyn

$$c = mm'E - m''E.$$

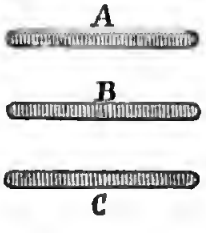
Die Dichtigkeit der auf C gebundenen Elektricität ist nur stets gering, wäre sie ganz Null, so hätte man

$$m \,.\, m' = m''.$$

Wäre dies wirklich ſtreng wahr, ſo wäre m^2, m^3, m^4 u. ſ. w. der Bindungscoefficient für die Entfernungen 2, 3, 4, wenn m den Bindungscoefficienten für die Entfernung 1 bezeichnet, oder mit andern Worten, die Entfernungen wären die Logarithmen der Vertheilungscoefficienten.

Die gebundene Elektricität auf C iſt aber nicht Null, wenn ſie auch ſchwach iſt. Sie wird unmerklich, wenn C ſehr nahe an B, oder auch wenn A ſehr nahe an B gerückt wird, für eine beſtimmte Entfernung zwiſchen A und C wird die gebundene Elektricität ein Maximum, wenn ſich B gerade in der Mitte zwiſchen beiden befindet.

Fig. 42.



Dieſe Beziehungen hat ſchon Fechner ermittelt und in ſeiner erwähnten Abhandlung ausgeſprochen (ſiehe Seite 37).

Roſenſchöld ſuchte nun zu beſtimmen, in welchem Verhältniſſe ſich die Menge der auf C gebundenen Elektricität ändert, wenn einmal die Zwiſchenplatte B iſolirt bleibt, dann aber ableitend berührt wird.

Die Scheiben A, B und C hatten 6 Zoll im Durchmeſſer, die Entfernung von A und C betrug 9″, B war in der Mitte zwiſchen beiden. War nun B ableitend berührt, ſo fand Roſenſchöld, daß die auf C gebundene Elektricität nur $\frac{1}{75}$ von derjenigen war, welche auf C gebunden wurde, von B iſolirt blieb. Im letzteren Falle, d. h. wenn B iſolirt bleibt, iſt es nach Roſenſchöld's Verſuchen ziemlich gleichgültig, ob die Scheibe B vorhanden iſt oder nicht.

Als nun die Entfernung von A und C halb ſo groß gemacht wurde, war die Elektricität, welche auf C gebunden wurde, wenn B ableitend berührt war, nur $\frac{1}{235}$ von der, welche für den Fall gebunden wurde, wenn B iſolirt blieb.

Als A und C 2 Fuß von einander abſtanden, war die auf C gebundene Elektricität überhaupt nicht bedeutend, bei ableitend berührtem B betrug aber die gebundene Elektricität auf C doch noch mehr als die Hälfte von der, welche bei iſolirtem B beobachtet wurde.

Aehnliche Verſuche wurden mit dreizölligen Scheiben gemacht.

Als A und C 9 Linien von einander abſtanden, war bei abgeleitetem B die auf C gebundene Elektricitätsmenge $\frac{1}{27}$ von der bei iſolirtem B auf C gebundenen.

Als Endreſultat dieſer Verſuche ergab ſich, daß m'' nur wenig von mm' verſchieden iſt, ſo lange die Entfernung der Scheiben A und C $^1/_4$ bis $^1/_8$ ihres Durchmeſſers nicht überſteigt.

Was die obigen Verhältnißzahlen $\frac{1}{75}$, $\frac{1}{235}$, $\frac{1}{27}$ betrifft, so ist zu bemerken, daß Rosenschöld nicht gehörig angegeben hat, wie er die Angaben seiner Elektrometer, die er zu diesen Messungen benutzte, gehörig vergleichbar machte.

Rieß, über Influenz-Elektricität und die Theorie des Condensators. Die letzte hierher gehörige Arbeit, welche wir noch zu besprechen haben, ist diejenige, welche Rieß im 73sten Bande von Poggendorff's Annalen unter dem Titel: »über Influenz-Elektricität und die Theorie des Condensators« publicirt hat. Mit dem Namen Influenz-Elektricität bezeichnet Rieß das, was man gewöhnlich gebundene Elektricität nennt, eine Bezeichnung, die, wie Rieß in der historischen Einleitung zu seinem Aufsatze zeigt, viel zur Befestigung irriger Ansichten über das Wesen der Influenz-Elektricität beigetragen hat. 26

Lichtenberg hat den Ausdruck »gebundene« Elektricität zuerst in die Wissenschaft eingeführt. Lichtenberg spricht von der gebundenen, latenten oder todten Elektricität im Gegensatze zu der freien, sensibelen, er unterscheidet von dem gewöhnlichen elektrischen Zustande einen andern, in welchem die Elektricität zwar vorhanden, aber wirkungslos, todt, latent seyn soll, ganz analog der gebundenen Wärme. (Erxleben, Anfangsgründe der Naturlehre. 3te Aufl. mit Zusätzen von Lichtenberg. 784. Seite 499.)

Dies ist für die Wissenschaft von sehr nachtheiligen Folgen gewesen, und hat Veranlassung zu den abentheuerlichsten Vorstellungen über das Wesen der gebundenen Elektricität gegeben, welche, hartnäckig vertheidigt, wie wir ja oben gesehen haben, nur mit vieler Mühe berichtigt werden konnten. Doch können wir wohl jetzt die Meinung, als ob der gebundenen Elektricität ganz besondere Eigenschaften zukämen, als eine überwundene ansehen.

Biot stellt die Theorie des Condensators und der Leidener Flasche ungefähr so dar. Wenn einer isolirten Metallplatte die Elektricitätsmenge 1 mitgetheilt wird, so wird diese in einer nahe gestellten ableitend berührten Metallplatte die Elektricitätsmenge m binden, die dann wieder auf die erste Scheibe zurückwirkend in dieser die Elektricitätsmenge m^2 bindet, so daß nur noch die Elektricitätsmenge $1 - m^2$ als freie Elektricität übrig bleibt. Ist E die größte Elektricitätsmenge, welche die isolirte Platte einzelnstehend aufnehmen kann, so wird sie in der Nähe der Condensatorplatte noch mehr Elektricität aufnehmen können, bis ihre freie Elektricität E beträgt. Bezeichnet A die ganze Elektricitätsmenge, welche sie jetzt aufzunehmen im Stande ist, so muß also $(1 - m^2)\, A = E$ seyn,

und daraus $\frac{A}{E} = \frac{1}{1-m^2}$. Dieſer Bruch giebt das Verhältniß der Elektricitätsmengen an, welche die iſolirte Platte einmal einzeln ſtehend und dann in der Nähe der Condenſatorplatte aufnehmen kann, ſie drückt daher die condenſirende Kraft des Apparates aus.

Dieſe Formel iſt nun ganz zuläſſig, in ſo weit ſie nur zur Veranſchaulichung der Wirkung des Condenſators dienen; es muß aber als ein Mißbrauch dieſer Formel bezeichnet werden, wenn ſie zur wirklichen Berechnung der condenſirenden Kraft des Apparates angewandt werden ſoll, denn Rieß weiſ't nach, daß die Verſtärkungszahl des Condenſators durchaus keine beſtimmte, etwa nur von der Entfernung der Platten abhängige Größe iſt, ſondern daß ſie abhängt von der Form und der Größe der Condenſatorplatte, von der Lage des Ableitungsdrahtes der Condenſatorplatte, von der Stelle, an welcher der Collectorplatte die Elektricität aus der Elektricitätsquelle zugeführt wird u. ſ. w. Kurz, Rieß hat gezeigt, daß die Condenſationszahl eine Größe iſt, welche bei demſelben Inſtrumente von einem Verſuche zum andern variirt, daß man alſo auch die obige Formel nicht anwenden könne, um die condenſirende Kraft des Apparates zu berechnen.

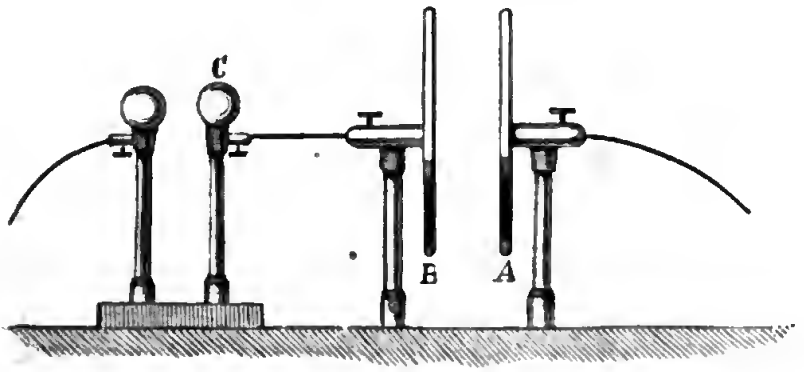
Ueber die Art und Weiſe, wie ſich Rieß über die beſprochene Formel äußert, erlaube ich mir noch einige Bemerkungen zu machen. Er ſpricht ſich nämlich ſehr ſtark gegen jene Formel aus, und zwar ſo, daß man meinen ſollte, die ganze Vorſtellungsweiſe, die Biot von der Wirkung des Condenſators vorträgt, ſey nicht allein mangelhaft, ſondern ſogar grundfalſch. — Rieß bekämpft mit Recht den Mißbrauch, den man von der Formel gemacht hat, um die condenſirende Kraft des Apparates zu berechnen, und weiſ't durch Verſuche unwiderleglich nach, daß eine ſolche Anwendung derſelben nicht zuläſſig ſey; in den einleitenden Betrachtungen drückt er ſich aber in einer Weiſe aus, daß man glauben ſollte, er wollte noch weit mehr gegen die Formel beweiſen, als es in der That ſeine Abſicht iſt, wodurch das Verſtändniß ſeiner Abhandlung ſehr erſchwert wird. Erſt ſpäter merkt man, daß es mit der Polemik gegen die Formel ſo ſchlimm nicht gemeint iſt, als man anfangs glauben ſollte, erſt ſpäter wird es dem Leſer recht klar, daß Rieß nur gegen den Mißbrauch der Formel kämpft, die am Ende doch auf derſelben Vorſtellung über die Wirkung des Condenſators beruht, welche er ſelbſt entwickelt. Zum Theil geht die Polemik gegen die Formel auf einen Wortſtreit hinaus.

Gehen wir nun zu den Verſuchen über, welche Rieß anſtellte, um die Wirkungsweiſe des Condenſators zu erläutern und zu ermitteln, welche Umſtände auf die Condenſationsfähigkeit des Inſtrumentes von Einfluß ſind.

Zwei ebene Meſſingſcheiben, 87,6 Linien im Durchmeſſer, $^{17}/_{24}$''' dick,

mit abgerundeten Rändern, wurden auf einer Seite und zwar gerade in der Mitte mit 15 Linien langen, 11 Linien dicken cylindrischen Ansätzen versehen. Diese Fortsätze sind in der Axe durchbohrt, so daß darin ein Zuleitungsdraht mittelst einer Klemmschraube befestigt werden kann. Winkelrecht auf ihrer Axe haben diese Ansätze eine Höhlung, in welcher ein etwas über 8 Zoll langer, mit Schellack überzogener Glasstab eingekittet ist. Diese die Scheiben tragenden Glasstäbe stehen vertikal auf einem horizontalen Brette, wie dies die schematische Figur 43 zeigt.

Fig. 43.



Die eine Scheibe *A*, die vertheilte oder die Condensatorplatte, läßt sich durch ein Charnier am unteren Ende ihres Glasstabes ganz umlegen. Die vertheilende Scheibe *B*, auch Collectorplatte genannt, steht auf einem Schlitten, so daß sie *A* nach Belieben genähert und die Entfernung mit Genauigkeit gemessen werden kann.

Die Condensatorplatte *A* war während des Gebrauches durch einen Metalldraht zu den Gasröhren des Hauses abgeleitet.

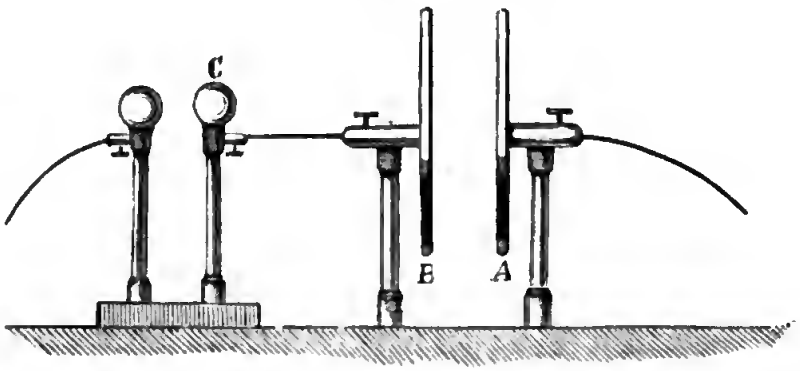
Die Collectorplatte *B* ist durch einen Metalldraht mit der einen Kugel eines Funkenmikrometers verbunden, dessen andere Kugel zu den Gasröhren des Hauses abgeleitet ist.

A wurde nun umgelegt, so daß also *B* allein stand, und dann *B* durch Berührung mit dem Knopfe einer Leidener Flasche elektrisirt. Die Elektricität verbreitet sich nun frei über das ganze isolirte System, also über die Platte *B* und die mit ihr verbundene Kugel des Funkenmikrometers. Die Schlagweite der hier befindlichen Elektricität wurde nur durch allmälige Annäherung der andern Kugel des Funkenmikrometers gemessen. Ein Versuch gab beispielsweise die Schlagweite 1,475‴.

Die bewegliche Kugel des Funkenmikrometers wurde nun wieder zurückgeschoben, die Platte *B* auf dieselbe Weise wie vorher geladen, alsdann die Scheibe *A* aufgerichtet und *B* bis auf zwei Linien genähert; nun

wirkt B vertheilend auf A, in A häuft ſich $-E$ an, die bindend*) auf B zurückwirkt und eine andere Anordnung der Elektricität in dem ihr gegenüber ſtehenden Syſteme veranlaßt, die Elektricität ſammelt ſich nämlich mehr in A und ihre Dichtigkeit in der Kugel C wird vermindert, wie

Fig. 44.



ſich dies aus der verringerten Schlagweite ergiebt, denn als jetzt die andere Kugel des Funkenmikrometers bis zum Ueberſchlagen eines Funkens genähert wurde, ergab ſich die Schlagweite 0,150. Durch die Annäherung der Condenſatorplatte iſt alſo die Elektricit in A angehäuft, ihre Dichtigkeit in C dagegen vermindert und zwar im Verhältniß von 1,475 zu 0,150, oder ſie iſt im letzten Falle nur noch 0,102 von der früheren.

Die elektriſche Ladung, welche die Flaſche an die Platte abgeben konnte, war in beiden Fällen nicht ganz gleich, denn abgeſehen von dem Verluſt

*) Rieß vermeidet es in ſeinem ganzen Aufſatze, den Ausdruck »gebundene Elektricität« anzuwenden, wohl aus keinem andern Grunde, als weil man mit dem Ausdrucke eine falſche Vorſtellung verband. Der Ausdruck »gebundene Elektricität« läßt ſich aber ſehr wohl mit einer richtigen Vorſtellung von ihrem Weſen vereinigen, und deshalb bin ich nicht der Meinung, einen Ausdruck zu verbannen, der ſchon ſo ſehr in die Gewohnheit übergegangen. Ueberhaupt ſind doch die falſchen Vorſtellungen über gebundene Elektricität nicht ſo verbreitet, wie Rieß zu glauben ſcheint; ich hatte nie eine andere Anſicht, als die, welche er vertritt, und gegen die Darſtellung dieſer Materie in meinem Lehrbuche der Phyſik dürfte Rieß, wenn er nicht an einzelnen Worten Anſtoß nimmt, ſchwerlich viel auszuſetzen finden, namentlich ſind die Bemerkungen auf der untern Hälfte der Seite 414 des erſten Bandes der erſten Auflage (3te Aufl. 2r Bd. Seite 97 unten) geeignet, jeden Zweifel über den wahren Sachverhalt zu entfernen, und doch war mir zur Zeit, als ich jene Stelle ſchrieb, der Rieß'ſche Aufſatz und der ganze Streit über das Weſen der gebundenen Elektricität noch unbekannt, ſonſt hätte ich jedenfalls des auf Seite 34 dieſes Berichtes beſchriebenen zweckmäßigen Verſuchs gebührende Erwähnung gethan; auch hätte ich es hier und da mit einigen Ausdrücken ſchiefer genommen, als es, da ich jenen Streit noch nicht kannte, bei voller Unbefangenheit geſchehen iſt.

an Ladung, welche die Flasche in der Zeit zwischen der ersten und der zweiten Berührung erlitt, hat sie ja bei der ersten Berührung schon Elektricität an die Platte abgegeben, bei der zweiten Berührung mußte also ihre Ladung, wenn auch nicht bedeutend, geringer seyn. Um diese Ungleichheit der Elektricitätsmenge zu corrigiren, machte Rieß eine ganze Reihe von Versuchen, immer abwechselnd mit und ohne Condensatorplatte, und verglich dann die Schlagweite jedes Versuchs mit der unmittelbar vorhergehenden in folgendem. Die Resultate einer solchen Versuchsreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Entfernung der Scheiben 2 Linien.

Schlagweite in pariser Linien.

Ohne Condensatorplatte.	Mit Condensatorplatte.	Mittel.	Verhältniß.
1,475			
	0,150	1,406	0,106
1,337		0,142	0,106
	0,135	1,303	0,104
1,270		0,132	0,104
	0,130	1,244	0,105
1,219		0,128	0,105
	0,126		0,105

Wenn man also mit 1 die Dichtigkeit der Elektricität auf C bezeichnet, welche sich auf diese Kugel verbreitet, wenn der Platte B eine elektrische Ladung ertheilt wird, während A entfernt blieb, so wird, wenn die abgeleitet berührte Condensatorplatte bis auf 2 Linien der Platte B genähert wird, die Elektricität mehr von C nach B hingezogen, und dadurch die Dichtigkeit der Elektricität auf C bis auf 0,105 vermindert.

Der Einfluß, welchen die Condensatorplatte A auf die Vertheilung der Elektricität auf das gegenüberstehende isolirte System B C ausübt, hängt natürlich von der Entfernung zwischen A und B ab; je weiter A von B entfernt bleibt, desto weniger wird bei seiner Annäherung die Dichtigkeit auf C vermindert.

Aus mehreren Versuchsreihen, ganz so angestellt, wie die oben angeführten fand Rieß für verschiedene Entfernungen der Condensatorplatte folgende Schlagweiten an der Kugel C, die Schlagweite für ganz entfernte Condensatorplatten gleich 1 gesetzt.

Entfernung der Platten	2‴	5‴	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Schlagweite an der Kugel	0,105	0,272	0,451	0,687	0,794	0,914	1

Angenommen, daß am Knopfe C des normalen Zuleitungsdrahtes eine Ausſtrömung der Elektricität am früheſten ſtattfindet, ſo wird auf der Platte ſo lange eine Anſammlung der Elektricität ſtattfinden können, als die Schlagweite am Knopfe eine beſtimmte Größe nicht überſtiegen hat. Setzen wir dieſe Grenzdichtigkeit auf C gleich 1. Nehmen wir an, das iſolirte Syſtem ſey bei freiſtehender Platte B bis zu dieſer Grenze geladen. — Nun wird die Condenſatorplatte genähert, dadurch die Elektricität mehr nach der Platte B hingezogen, ihre Dichtigkeit auf C alſo (wir wollen annehmen auf $\frac{1}{n}$) vermindert, ſo iſt klar, daß man dem ganzen iſolirten Syſteme $n$mal ſo viel Elektricität als früher zuführen kann, bis auf C wieder die Dichtigkeit 1 erreicht iſt, der Apparat kann alſo jetzt, bei genäherter Condenſatorplatte, $n$mal ſo viel Elektricität aufnehmen als vorhin.

Bei den obigen Verſuchen wurde die Dichtigkeit der Elektricität auf C durch Annäherung der Condenſatorplatte bis 2‴ auf 0,105 oder $\frac{1}{9,5}$ vermindert, dadurch wird alſo auf die Platte B eine 9,5mal ſo ſtarke Anſammlung der Elektricität möglich als ohne Condenſatorplatte.

Für die verſchiedenen Entfernungen der Condenſatorplatte wird alſo bei obigen Verſuchen eine Vermehrung der Dichtigkeit auf der Collectorplatte in folgendem Verhältniß möglich.

Entfernung der Platten	2‴	5‴	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Mögliche Vermehrung der elektr. Dichtigkeit auf der Collectorplatte	9,5	3,67	2,21	1,45	1,25	1,09	1

Dies iſt die richtige Darſtellung der Wirkungsweiſe condenſirender Apparate. Allerdings hatte man auch ſchon früher eine richtige Anſicht über den Hergang, ſie war aber nicht ſo ſcharf und klar ausgeſprochen.

Bei dieſen Verſuchen war C mit B durch einen 8″ 5‴ Zoll langen Draht verbunden. Als ſtatt deſſen ein 18″ 3‴ langer Draht angewandt wurde, ergaben ſich faſt genau dieſelben Verhältnißzahlen der Schlagweite für freiſtehende Collectorplatte und genäherte Condenſatorplatte.

Wenn man also das leitende System der Collectorplatte mit einer constanten Elektricitätsquelle in Berührung bringt, so wird man auf der Collectorplatte B, 2,21 — 1,45 — 1,25 u. s. w. mal mehr Elektricität anhäufen können, wenn die ableitend berührte Condensatorplatte A 10‴ 20‴, 30‴ weit von B absteht, als wenn sie gar nicht da ist.

Rieß suchte die Vermehrung der Elektricitätsmenge auf die Collectorplatte durch die Annäherung der Condensatorplatte unter den obigen Umständen, d. h. wenn die Collectorplatte während der Annäherung der Condensatorplatte mit einer constanten Elektricitätsquelle in Verbindung blieb, durch directe Versuche zu bestimmen, die er in folgender Weise anstellte.

Zuerst wurde mit dem Knopf einer Leidner Flasche die Kugel C berührt, während die Condensatorplatte ganz entfernt blieb, die Flasche entfernt und die Schlagweite bei C gemessen.

Dann wurde die ableitend berührte Condensatorplatte in einer bestimmten Entfernung aufgestellt, C abermals mit dem Knopf der Leidner Flasche berührt, Flasche und Condensatorplatte entfernt, und abermals die Schlagweite bei C gemessen.

So viel mal im letzten Falle die Schlagweite größer gefunden wird als im ersten, um so viel mal mehr Elektricität hat im letzteren Falle die Platte B aufgenommen als im ersten.

Eine Reihe von Versuchen ergab im Mittel folgende Elektricitätsmengen für die verschiedenen Entfernungen der Platten.

Entfernung der Platten . . .	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Aufgenommene Elektricitätsmenge	2,33	1,52	1,31	1,11	1

Der Unterschied dieser direct gefundenen Zahlen mit den aus den ersteren Versuchen berechneten Verdichtungszahlen, ist in der That sehr gering.

Für kleinere Entfernungen als 10″ konnten nicht wohl Versuche mit Sicherheit angestellt werden.

Das Verhältniß der Elektricitätsmenge der Collectorplatte, je nachdem sie bei der Berührung allein gestanden, oder in der Nähe der Condensatorplatte, heißt Verstärkungszahl des Condensators. Nach obigen Versuchen ist also 2,21 — 1,45 u. s. w. die Verstärkungszahl des Condensators, wenn die Platten 10‴, 20‴, u. s. w. abstanden.

Wir werden alsbald sehen, daß die Verstärkungszahl des Condensators durchaus nicht allein von der Entfernung der Platten abhängt.

Die Bestimmung der Dichtigkeit der Elektricität auf c mittelst des Funkenmikrometers macht den Hergang allerdings recht anschaulich, eignet sich aber nicht zu genauen Bestimmungen, weil die abgeleitete Kugel des

Funkenmikrometers Einfluß auf die Vertheilung der Elektricität auf der gegenüberſtehenden hat. — Statt des Funkenmikrometers läßt ſich aber auch jede andere Methode der Meſſung der elektriſchen Dichtigkeit auf C anwenden.

Zu einer genaueren Verſuchsreihe wandte Rieß die Torſionswage an. Er fand auf dieſe Weiſe, daß wenn dem iſolirten Syſteme CB eine elektriſche Ladung mitgetheilt worden iſt (die abgeleitete Kugel des Funkenmikrometers war entfernt), während die Condenſatorplatte entfernt war und man mit 1 die elektriſche Dichtigkeit bezeichnet, welche ſich auf C befindet, ſo wird bei Annäherung der Condenſatorplatte auf verſchiedene Entfernungen die Dichtigkeit auf c in folgendem Verhältniß verringert.

Entfernung der Platten	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴	∞
Dichtigkeit auf C	0,173	2,35	2,86	3,35	0,492	0,595	0,683	0,897	1

Dieſe Reſultate ſtimmen recht gut mit den frühern, mittelſt des Funkenmikrometers erhaltenen, überein.

Als der Verbindungsdraht zwiſchen B und C verkürzt worden war, wurden folgende ſchon ziemlich abweichende Zahlen gefunden.

Entf. d. Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴	∞
Dichtigkeiten	0,1 5	0,219	0,274	0,306	0,488	0,630	0,688	0,888	1

Auf der Rückſeite der Collectorplatte wird durch Annäherung der Condenſatorplatte die elektriſche Dichtigkeit vermindert. Rieß fand, daß auf der Rückſeite der Collectorplatte, nahe am Rande derſelben, die Dichtigkeit der Elektricität bei Annäherung der Condenſatorplatte in folgendem Verhältniß vermindert wurde.

Entf. d. Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴	∞
Dichtigkeiten	0,260	0,341	0,412	0,460	0,617	0,713	0,628	0,941	1

Man ſieht alſo, daß auf der Rückſeite der Collectorplatte nahe am Rande die Dichtigkeit der Elektricität durch Annäherung der Condenſatorplatte

weit weniger verringert wird, als am Ende C des in der Mitte normal aufgesetzten Zuleitungsdrahtes; die Verstärkungszahl des Condensators wird also eine geringere seyn, wenn der zu untersuchende Körper an den Rand, als wenn er in der Mitte der Collectorplatte angelegt wird*).

Größere Condensatorplatten lassen eine größere Condensation der Elektricität zu als kleinere, wie dies schon Munk of Rosenschöld gezeigt hat.

Mit Platten von 52‴ Durchmesser wurden Versuche möglichst unter denselben Umständen angestellt, wie sie bei obigen Versuchsreihen waren, namentlich war die normale Ableitung der Collectorplatte in beiden Fällen dieselbe. Es wurde nur die Verminderung der elektrischen Dichtigkeit beobachtet, welche bei Annäherung der Condensatorplatte am Ende des normalen Zuleitungdrahtes (also an der Kugel C?) stattfindet. In folgender Tabelle sind die mit der kleinen Platte erhaltenen Resultate mit der entsprechenden, an der größern erhaltenen, zusammengestellt.

Entfernung der Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	∞
Dichtigkeit an der Ableitung des kleinen Condensators	0,232	0,330	0,393	0,443	0,688	0,768	1
Dichtigkeit an der Ableitung des großen Condensators	0,155	0,219	0,274	0,306	0,488	0,630	1

Man sieht also, daß die Dichtigkeit der Elektricität an der normalen Ableitung der kleinen Platte durch Annäherung der Condensatorplatte nicht so stark vermindert wird, als bei Anwendung größerer Platten, daß also auch bei Condensatoren mit größeren Platten eine stärkere Verdichtung der Elektricität auf der Vorderseite der Collectorplatte selbst möglich ist, als bei kleineren.

Die Dichtigkeit der Elektricität auf die Collectorplatte hängt auch ab von der Art und Weise, wie die Condensatorplatte abgeleitet ist.

*) Dieser Schluß scheint mir nicht ganz richtig. Die Versuche beweisen, daß, wenn man die constante Elektricitätsquelle bei C anhält, alsdann die Verstärkungszahl größer ausfällt, als wenn man mit der constanten Elektricitätsquelle die Rückseite der Collectorplatte nahe am Rande berührt. Daß es aber einerlei ist, ob man mit der constanten Elektricitätsquelle die Kugel C oder direct die Mitte der Collectorplatte berührt, ist noch nicht bewiesen, und dies hätte bewiesen seyn müssen, wenn obige Aussage wahr seyn soll.

Bei den letzten mit den kleinen Platten angeſtellten Verſuchen war die Ableitung der Condenſatorplatte normal auf ihre Ebene; nun wurde aber der Ableitungsdraht an die Seite des Plattenfortſatzes angebracht, ſo daß derſelbe ungefähr 5‴ von der Platte entfernt, mit der Ebene derſelben parallel lief. (Aus dieſer Beſchreibung iſt mir die Anwendung nicht recht klar geworden. M.)

Es wurde nun die Dichtigkeit der Elektricität am normalen Fortſatze der Collectorplatte für verſchiedene Entfernungen des Condenſators beobachtet, und die Reſultate mit denen zuſammengeſtellt, die bei normaler Ableitung der Condenſatorplatte erhalten worden war.

Entfernung der Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	∞
Dichtigkeiten (parallele Ableitung)	0,190	0,269	0,340	0,408	0,597	1
Dichtigkeiten (normale Ableitung)	0,232	0,393	0,393	0,443	0,688	1

Bei parallel mit der Condenſatorplatte laufenden Ableitungsdrahte findet ſich für jede Entfernung der Platten eine geringere Dichtigkeit an der normalen Ableitung der Collectorplatte, als wenn die Ableitung der Condenſatorplatte normal iſt; bei paralleler Ableitung der Condenſatorplatte iſt alſo der Condenſator einer ſtärkern Anſammlung der Elektricität fähig, als bei normaler Ableitung derſelben.

Rieß ſuchte nun auch die Menge der auf der Condenſatorplatte gebundenen Elektricität zu beſtimmen. Ich begnüge mich hier, nur die Reſultate ſeiner Verſuche mit dem großen Condenſator anzuführen. Bezeichnet man mit 1 die Elektricitätsmenge auf der Collectorplatte, ſo fanden bei verſchiedener Entfernung der Platten folgende Elektricitätsmengen auf dem Condenſator Statt.

Entfernung d. Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴
Menge d. gebundenen Elektricität a. d. Condenſatorplatte	0,911	0,887	0,854	0,823	0,689	0,612	0,500	0,263

27 **Elektriſche Wirkungen der Flammen.** Die elektriſchen Eigenſchaften der Flamme ſind von Rieß in einem Aufſatze beſprochen worden,

welcher ſich in Poggendorff's Annalen Band LXI Seite 545 findet. Im Eingange giebt er hiſtoriſche Notizen über früher ſchon gemachte Erfahrungen und Anſichten, die über dieſen Gegenſtand ſprechen. Wir wollen hier nur bemerken, daß ſchon Gilbert und Kircher die elektriſchen Wirkungen der Flamme kannten; Prieſtley bewies durch Verſuche, daß die Flamme die Elektricität leite, und Volta vergleicht die elektriſche Wirkung der Flammen mit der Wirkung metalliſcher Spitzen.

In der That läßt ſich die elektriſche Wirkung der Flammen kurz ſo charakteriſiren: Wenn ein elektriſirter Leiter mit einer Flamme verſehen wird, ſo verliert er alsbald ſeine Elektricität, die Elektricität ſtrömt durch die Flamme aus, wie durch eine auf dem elektriſirten Leiter angebrachte Spitze; bringt man dagegen eine Flamme in die Nähe eines elektriſchen Körpers, ſo ſaugt die Flamme die Elektricität gleichſam ein, wie dieß auch eine metalliſche Spitze, wenn gleich in weit geringerem Maaße, thut. Setzt man eine Flamme auf den Knopf einer Leidner Flaſche, welche in der Nähe einer gedrehten Elektriſirmaſchine ſteht, ſo ladet ſich die Flaſche, als ob man den Knopf mit dem Conductor der Maſchine verbunden hätte. — Volta brachte brennenden Schwamm an ſeinen Elektroſcopen an, um gleichſam die Luftelektricität einzuſaugen.

Obgleich Volta richtig erkannte, daß die Flamme leitend ſey, und daß ſie in ähnlicher Weiſe wirkt wie metalliſche Spitzen, obgleich er alſo die Elemente einer richtigen Erklärung auch richtig erkannt hätte, ſo waren doch ſeine Anſichten über die Wirkung der Spitzen ſelbſt zum Theil irrig, indem er glaubte, daß bei Spitzen das Ausſtrömen ſowohl als auch das Einſaugen der Elektricität eine Folge des elektriſchen Windes ſey. Bei der Flamme ſoll der aufſteigende Luftſtrom die Wirkung des elektriſchen Windes erſetzen.

Bei ſtärkerer Ladung der Spitzen tritt freilich der elektriſche Wind auf und begünſtigt auch das Ausſtrömen und Einſaugen der Elektricität, allein die Wirkung der Spitzen wird keineswegs durch dieſen Wind bedingt, ſie findet ſchon Statt bei elektriſchen Ladungen, die zu ſchwach ſind, um den elektriſchen Wind hervorzubringen.

Nach Volta's Erklärung findet bei der elektriſchen Wirkung der Flamme eine wirkliche Mittheilung von Elektricität Statt. Daß die ladende und entladende Wirkung der Spitzen nicht immer auf einem unmittelbaren Uebergang der Elektricität beruht, iſt bekannt; Rieß ſucht dieß nun auch durch Verſuche für Flammen darzuthun, er erklärt die Wirkung der Flamme auf folgende Weiſe.

Von der Flamme ſtrömt fortwährend ein dichter Dampfſtrom auf, der ſich als zuſammenhängende Schicht in die Luft erhebt. Aber er behält dieſe Form nur bis zu einer geringen Höhe. Indem die Luft von allen Seiten

in den Dampf eindringt, und dieſer durch die Glühhitze zerſetzt, ſich mit Theilen der Luft verbindet, wird die continuirliche Maſſe vielfach eingeſchnitten und zerriſſen, und es bleiben von ihm nur Fäden übrig, die ſich mehr und mehr verdünnen und in der Luft zerſtreuen. Von der die Elektricität leitenden Flamme gehen demnach leitende Fäden aus, die von einander durch die gebildeten nicht leitenden Gasarten, und durch heiße Luft getrennt ſind, und nothwendig in Spitzen und Zacken verlaufen. Dies vorausgeſetzt hat man die Flamme als einen guten Elektricitätsleiter zu betrachten, der mit einer Menge, nach allen Seiten in die Luft hinausragenden Spitzen verſehen iſt, und zwar mit ſolchen, die an Vollkommenheit alle in der Natur vorkommenden Spitzen übertreffen. Ueberträgt man auf dieſen Leiter die Erfahrungen, die an unvollkommenen Spitzen gemacht worden ſind, ſo ergeben ſich, nach den ſonſt bekannten Eigenſchaften der Elektricität, die elektriſchen Wirkungen der Flamme mit Leichtigkeit.

Von einem mit Spitzen verſehenen Leiter ſtrömt eine deſto größere Menge die ihm mitgetheilte Elektricität aus, je vollkommener ſeine Spitzen ſind; von der Flamme entfernt ſich auch die geringſte Menge Elektricität. An einer Spitze iſt die elektriſche Dichtigkeit um vieles größer als an jeder anderen Stelle des Leiters, an den Dampfſpitzen der Flamme iſt demnach die Dichtigkeit der Elektricität ſehr groß; die in den Dampfſpitzen angehäufte Elektricität wirkt nun vertheilend auf genäherte iſolirte Leiter. Iſt an den Stellen des iſolirten Leiters, welche den elektriſchen Dampfſpitzen zunächſt liegen, die Anhäufung der angezogenen Elektricität groß genug, ſo wird ſie ausſtrömen und der Leiter bleibt nur mit der Elektricität geladen zurück, welche von der Elektricität der Flamme abgeſtoßen wird, alſo mit ihr gleichnamig iſt; der iſolirte Leiter bleibt alſo mit derſelben Elektricität geladen, welche die Flamme hat, ohne daß dieſe Elektricität von der Flamme zu ihm übergegangen wäre.

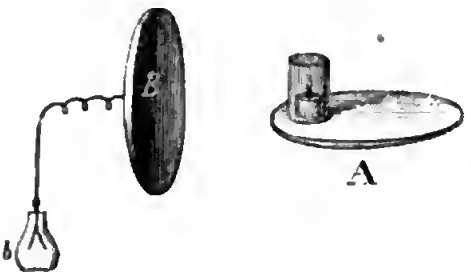
Nähert man umgekehrt der Flamme einen elektriſchen Körper, ſo werden die Dampfſpitzen durch Vertheilung elektriſch, aber ihre Elektricität ſtrömt aus und der iſolirte Leiter, auf welchem ſich die Lampe befindet, bleibt mit derſelben Elektricität geladen, welche der genäherte, vertheilende elektriſche Körper beſitzt, ohne daß dieſe Elektricität von dieſem elektriſchen Körper auf den mit der Lampe verſehenen Leiter übergegangen wäre.

Dieſe Anſicht von dem Hergange der Sache iſt durch folgenden Verſuch gerechtfertigt.

Auf einer gehörig iſolirten Kupferſcheibe *A* (3″ 11‴ Durchmeſſer) ſtand eine kleine metallene Weingeiſtlampe, die mit einem 13 Linien hohen Metallcylinder umgeben war. Ungefähr 3¾ Zoll von der Lampe entfernt befand ſich eine zweite Kupferſcheibe *B* (Fig. 45), die mit dem

Elektroſcop *b* verbunden, und durch einen iſolirenden Schellackſtiel in einer vertikalen Ebene gehalten wurde. Die Dochtſpitze und die Mitte der Scheibe *B* befanden ſich in gleicher Höhe.

Fig. 45.



Wurde nun die Lampe angezündet und *A* durch Berührung mit dem einen Pol einer trocknen Säule elektriſirt, ſo zeigte alsbald das Elektroſcop *b* eine Divergenz von 3‴. Da der Dampf von der Flamme gerade aufſteigt, ſo iſt hier eine directe Ueberführung der Elektricität ſchon unwahrſcheinlich; fände ſie Statt, ſo müßte auch *A* und *B* nothwendig durch Dämpfe in leitender Verbindung ſtehen, das Elektroſcop *b* müßte alſo zuſammenfallen, ſobald man *A* ableitend berührt. Bei ableitender Berührung von *A* fiel aber das Elektroſcop *b* nur auf 2½‴ zuſammen, es findet alſo zwiſchen *B* und der Lampe keine leitende Verbindung Statt, und die Ladung von *B* geſchieht alſo in der oben angedeuteten Weiſe.

Wurde *B* elektriſirt, und während die Lampe brannte, *A* ableitend berührt, ſo ſank das Elektroſcop langſam zuſammen, blieb aber bei 3‴ Divergenz ſtehen und zeigte ſelbſt nach 2 Minuten noch 2⅓‴ Divergenz.

Wurde *B* horizontal über *A* gehalten, ſo ſchlugen die Dämpfe der Lampe an *B* an, folglich beſtand auch eine leitende Verbindung zwiſchen *A* und *B*, in dieſem Falle fiel auch, wenn man im übrigen die eben beſprochenen Verſuche wiederholte, das Elektroſcop *b* alsbald zuſammen, wenn *A* ableitend berührt wurde.

Aus dem Erfolge dieſer Verſuche ergiebt ſich auch, daß die hier wirkſamen Dampfſpitzen weit über die Flamme und den die Lampe umgebenden Metallcylinder hinausragen, ſonſt würde ja dieſer überragende Metallcylinder die Spitzenwirkung vernichtet haben, wie es in der That bei glimmenden Körpern der Fall iſt.

Legt man brennenden Schwamm auf *A*, hält man *B* gehörig iſolirt horizontal über *A*, ſo wird, wenn *A* durch Berührung mit dem einen Pol einer trocknen Säule elektriſirt wird, das Elektroſcop *b* alsbald divergiren, dieſer Erfolg bleibt aber aus, ſobald man den brennenden Schwamm mit einem metalliſchen Cylinder (13‴ hoch, 9‴ im Durchmeſſer) umgiebt.

Dies beweiſt, daß der hier aufſteigende Rauch nicht leitend iſt. Die Wirkung des glimmenden Körpers wird alſo nicht wie die Flamme durch den Dampf beſtimmt. An der Stelle, wo die Maſſe verbrennt, entſteht eine Grube, deren Rand durch die gebildete Kohlenſäure u. ſ. w. vor der Verbrennung geſchützt bleibt; wo mehrere ſolcher Gruben zuſammentref-

ſen, bleibt ein Höcker unverbrannter Maſſe ſtehen; dieſe Höcker werden bei fortſchreitender Verbrennung zugeſpitzt, und auf dieſe überall aus dem brennenden Körper hervorragenden Spitzen ſind alle Folgerungen anwendbar, welche oben für die Dampfſpitzen entwickelt wurden.

Wie der glimmende Feuerſchwamm, ſo verhalten ſich auch Lunte, Räucherkerzen u ſ. w.

Rieß hat dieſe Verſuche noch vielfach modificirt, und immer Reſultate erhalten, welche ſeine theoretiſche Anſicht beſtätigten. Bei allen dieſen Verſuchen iſt die Verbrennung der entzündeten Körper möglichſt vollſtändig erhalten worden. Schwamm und Kohlenkerze (in der Art verfertigt, wie Rauchkerzen) wurden durch häufiges Blaſen angefacht, von Aſche gereinigt und die Weingeiſtlampe nur bei intenſiver Verbrennung gebraucht. Mit dieſer Vorſicht iſt jede Störung der angegebenen Wirkungen vermieden worden. — Wenn dagegen die Verbrennung der unterſuchten Körper nicht vollſtändig iſt, ſo ſieht man einen beſtimmten Verſuch mit der einen Elektricitätsart oft viel leichter und ſchlagender gelingen, als mit der andern, was bei vollkommener Verbrennung nicht der Fall iſt.

Die Scheibe *A* wurde vertikal und der Scheibe *B* parallel geſtellt, und dann auf *A* eine Kohlenkerze (kleine Kegel geformt aus Kohlenpulver und etwas Salpeter, welche Stoffe mit Traganthſchleim angerührt wurden) befeſtigt, welche gegen *B* hin gerichtet war.

Als die Kohlenkerze über die Hälfte in Gluth und mit Aſche bedeckt war, wurde *A* mit dem einen Pol einer trocknen Säule berührt. War dies der poſitive Pol, ſo divergirte das Elektroſcop *b* nur langſam und höchſtens bis zu 2 Linien; berührt man aber *A* mit dem negativen Pol der trocknen Säule, ſo divergirte der Elektroſcop ſchnell und mit mehr als 5 Linien.

Im Gegenſatz divergirte ein Elektroſcop, welches man mit der Kohlenkerze und der Scheibe *A* leitend verband, ſchneller und ſtärker, wenn die gegenüberſtehende Scheibe *B* poſitiv, als wenn ſie negativ elektriſch gemacht war, es hatte alſo den Anſchein, als ob die negative Elektricität leichter aus der Kerze ausſtröme, der poſitive hingegen leichter von ihr aufgeſaugt würde.

Rieß erklärt dieſe ſonderbare Erſcheinung durch die bekannte Erfahrung, daß bei der Verbrennung der Kohle eine Elektricitätsentwickelung ſtattfindet, und zwar, wie ſchon Volta beobachtete, am ſtärkſten bei mäßiger Gluth, bei ſchwachem Luftzuge und abſichtlich verzögerter Verbrennung der Kohle.

Die aufſteigende Kohlenſäure iſt hierbei poſitiv, die Kohle negativ elektriſch, die an und für ſich ſchon negativ elektriſchen Spitzen müſſen alſo kräftiger wirken, wenn ihnen noch — *E* zugeführt wird, als wenn man

ihnen $+E$ zuführt, wodurch sich die oben besprochenen Unterschiede der Erscheinung bei positiver und negativer Ladung vollständig erklären.

Die Kohle wirkt durch ihre negativ elektrischen Kohlenspitzen und nicht durch den positiv elektrischen Dampf, sonst müßte man die stärkere Wirkung bei derjenigen elektrischen Ladung erhalten, welche bei obigen Versuchen die schwächere Wirkung gab. Dieser Fall wird jedoch auch beobachtet und zwar an der Davy'schen Glühlampe.

Auf der Scheibe *A*, Fig. 45, wurde eine messingene Glühlampe mit schwach glühender Spirale gestellt; die Lampe, welche 10‴ hoch war, wurde mit einem 13‴ hohen Cylindermantel aus Kupferblech umgeben; wurde *A* positiv geladen, so divergirte das Elektroscop *b* stärker, als bei negativer Ladung von *A*. Wurde dagegen *A* mit einem Elektroscop versehen und *B* durch Berührung mit dem einen Pol der trocknen Säule geladen, so divergirte das Elektroscop stärker bei negativer Ladung von *B*.

An den eben besprochenen Aufsatze von Rieß hat sich eine Polemik über die elektrische Wirkung der Flammen zwischen Rieß und van Rees angeknüpft (P. A. LXXIII, Seite 41 und 307). van Rees bekämpft zunächst die Existenz der Dampfspitzen. Dabei stützt er sich darauf, daß diese Dampfspitzen nicht sichtbar seyen, wenn man den Schatten der Flamme betrachtet, welchen man erhält, wenn man in eine dunkle Kammer das Licht durch den Beleuchtungsapparat eines Sonnenmikroscops einfallen läßt und die Flamme in den stark divergirenden Lichtkegel bringt.

Dagegen sagt Rieß, wer sich die Dampfspitzen so denkt, daß sie einen Schatten werfen können, der darf sie von vorn herein verwerfen, ohne den erwähnten Versuch anzustellen. Es ist aber eine Thatsache, daß über der elektrisch wirkenden Flamme eine Dampfsäule steht, welche die Elektricität gut leitet, und sich dann in die schlecht leitende Luft verliert; die kalte Luft wird also wohl in die leitende Masse einschneiden und sie auszacken.

In der That hat diese Ansicht die größte Wahrscheinlichkeit für sich, und da van Rees selbst sagt: »eine Flamme ist im Ganzen genommen (also wohl auch die zunächst über ihn befindliche Dampfmasse) als Leiter zu betrachten«, so ist eigentlich kein großer Unterschied mehr zwischen den Ansichten der beiden Physiker und der Streit über diesen Punkt doch fast nur noch ein Wortstreit.

Zur Erklärung der Flammenwirkung geht van Rees ebenfalls von der Spitzenwirkung aus; er sagt, wenn eine Spitze auf den Conductor einer Elektrisirmaschine aufgesetzt wird, so entsteht ein ununterbrochener Strom elektrisirter Luft, die zunächst vertheilend auf die nächsten Leiter wirkt.

Zwei Meter von dem mit einer Spitze versehenen Conductor der Elektrisirmaschine wurde ein Elektroscop aufgestellt; sobald gedreht wurde, divergirten die Blättchen, und diese Divergenz blieb, als der Conductor ent-

laden wurde; trotz dieſer bleibenden Divergenz hatte aber das Elektroſcop doch keine bleibende Ladung, ſondern die Blättchen divergirten noch in Folge der vertheilenden Wirkung der von der Spitze elektriſirten Luft, welcher durch Entladung des Conductors die Elektricität nicht genommen werden kann. Daß das Elektroſcop wirklich keine bleibende Ladung hatte, zeigte van Rees dadurch, daß die Pendel ſogleich zuſammenfielen, als er das Elektroſcop in ein Nebenzimmer brachte, ſogleich aber wieder divergirten, als er das Inſtrument an ſeine alte Stelle ſetzte. — Bei fortgeſetzter Drehung aber verbreiten ſich die an der Spitze elektriſirten Luftheilchen weiter, ſie wandern theilweiſe zum Elektroſcop, dem ſie auf dieſe Weiſe eine bleibende Ladung mittheilen.

Gegen dieſes alles iſt wohl nichts einzuwenden.

Van Rees überträgt nun dieſe Anſicht von der Wirkungsweiſe der Spitzen auf die Wirkung der Flammen; durch die Flamme wird die von ihr aufſteigende Luft geladen und kann dann vertheilend auf benachbarte Leiter wirken. Wenn das Elektroſcop *b* bei dem erſten Rieß'ſchen Verſuche, welcher auf Seite 82 beſprochen wurde, bleibend elektriſirt ſchien, ſo war dies nach Rees alſo nur eine Folge der vertheilenden Wirkung der elektriſchen Luft über der Flamme, welche durch Entladung der Platte *A* nicht entladen werden kann, weil ſie ein Iſolator iſt. — Die vertheilende Wirkung, welche von der Flamme ausgeht, meint Rees, ſey viel zu ſchwach, um in der Platte eines genäherten Elektroſcops (alſo beim Rieß'ſchen Verſuche wohl in der Platte *B*) eine ſo ſtarke Anhäufung der angezogenen Elektricität zu bewirken, daß ein Ausſtrömen ſtattfinden könnte, in Folge deſſen das Elektroſcop geladen zurückbliebe. Darüber läßt ſich aber offenbar nicht allgemein aburtheilen, es hängt dies viel zu ſehr von ſpeciellen Verhältniſſen, von den Dimenſionen der Platte, den Dimenſionen des vertheilenden Körpers, der gegenſeitigen Entfernung u. ſ. w. ab.

Der Unterſchied zwiſchen der Anſicht der beiden Phyſiker iſt demnach im Weſentlichen folgender. — Nach Rieß wirkt die aufſteigende, in einzelne Fäden auslaufende leitende Dampfmaſſe vertheilend auf die benachbarten Leiter; nach van Rees dagegen geht die vertheilende Wirkung von der über der Flamme befindlichen nicht leitenden Luftmaſſe her, welche durch die leitende Flamme der Elektricität mitgetheilt wird.

Die Wahrheit mögte wohl zwiſchen beiden Anſichten in der Mitte ſtehen. Es iſt unzweifelhaft, daß über der Flamme eine leitende Dampfſäule ſich bildet und höchſt wahrſcheinlich, daß dieſe in feine leitende Fäden ausgeht. Iſt dieſe Dampfmaſſe mit ihren Spitzen elektriſch, ſo muß ſie auch vertheilend auf genäherte Leiter wirken, wie dies die Anſicht von Rieß iſt. — Wie weit aber die Dampfſäule leitend bleibt, iſt ungewiß; die meiſten durch die Verbrennung gebildeten Gaſe und Dämpfe verlieren

aber bei der Abkühlung ihr Leitungsvermögen; ſie werden aber die von der Flamme mitgebrachte Elektricität behalten, und ſo bildet ſich über der elektriſirten Flamme und ihrem leitenden Theile auch eine elektriſche nicht leitende Gasmaſſe, welche ihrerſeits ebenfalls vertheilend auf genäherte Leiter wirkt, wie dies die Anſicht von Rees iſt.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß bei ſtarker Elektriſirung die Ueberführung elektriſirter Luft und Staubtheilchen ſich der oben beſprochenen Vertheilungswirkung hinzugeſellt, und leicht den weſentlichſten Theil der Ladung und Entladung bewirken kann.

Petrina hat die elektriſche Wirkung der Flamme auf eine ganz eigenthümliche Weiſe zu erklären geſucht (P. A. LVI. 459); er meint, daß der zur Flamme hinzuſtrömende Sauerſtoff nur bei einem beſtimmten elektriſchen Zuſtande eine chemiſche Verbindung eingehe und dieſen Zuſtand bis auf eine beträchtliche Entfernung von der Verbindungsſtelle annehme und behaupte.

Eine Begründung dieſer Anſicht hat Petrina jedoch noch nicht gegeben.

Dritter Abſchnitt.

Die Leidner Flaſche und die Wirkungen des Entladungsſchlages

28 **Abria über einige die elektriſche Entladung begleitende mechaniſche Phänomene.** Wenn man den Entladungsſchlag einer Leidner Flaſche zwiſchen Spitzen übergehn läßt, und unter den Weg des Funkens eine mit einem feinen Pulver beſtreute Glasplatte legt, ſo beobachtet man nach einigen Entladungen, daß das Pulver ſich mit einer gewiſſen Regelmäßigkeit zu Kurven ordnet.

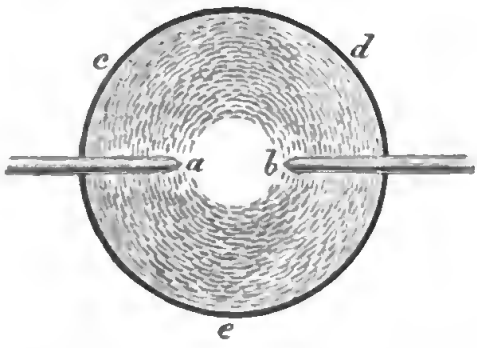
Abria hat dieſe Erſcheinung zuerſt beobachtet und beſchrieben (Ann. de chim. et de phys. LXXIV. 186. P. A. LIII. 589). Durch die Leſung ſeiner Abhandlung erhält man aber durchaus keine klare Vorſtellung davon, welcher Art jene Kurven ſind und dies rührt wohl vorzugsweiſe daher, daß die Figur, welche dazu dienen ſoll, die Sache zu erläutern, ſich mit dem Text gar nicht in Zuſammenhang bringen läßt. Selbſt jetzt, nachdem ich das Phänomen durch den Verſuch kennen gelernt habe, bleibt mir die Figur, welche der Abhandlung beigegeben iſt, noch unverſtändlich.

Um das Phänomen kennen zu lernen, ſtellte ich den Verſuch ſelbſt an. — Die innere Belegung einer Maaßflaſche wurde mit dem Conductor der Maſchine verbunden. Auf den Weg, den die Elektricität von der inneren Belegung zur äußeren zu durchlaufen hat, wurde der allgemeine Henley'ſche Auslader eingeſchaltet. Auf das Tiſchchen deſſelben wurde eine Glasplatte gelegt, und dieſe mit Mennigpulver oder mit Schwefelblüthe, welche gerade zur Hand waren, dünn beſtäubt. Das Reſultat war für beide Pulverarten daſſelbe. Das Pulver ordnete ſich ungefähr ſo wie es Fig. 46 angedeutet iſt.

In Fig. 46 ſind *a* und *b* die beiden Spitzen, zwiſchen welchen die Funken überſchlagen; unter dieſen ſieht man von Oben geſehen die Platte

cde, auf welchen das gleichmäßig aufgeſtreute Pulver in Folge der wiederholten Entladungsſchläge ſich ungefähr ſo ordnet, wie es durch Striche angedeutet iſt. —

Fig. 46.



Natürlich treten in dieſe Kurven Modificationen ein, wenn man die Entfernung der Platten von der Linie, welche die Spitzen *a* und *b* verbindet, verändert. Die Kurven ſind nicht continuirlich, ſondern es ſind lauter kurze, abgebrochene Strichelchen, wie man in der Figur ſieht, es iſt mir deßhalb nicht wohl begreiflich, wie Abria die Natur dieſer Kurven ſo weit unterſuchen konnte, um zu entſcheiden, daß ſie nicht, wie es auf den erſten Anblick ſcheint, zu Ellipſen gehören, ſondern daß ſie verwickelter ſind.

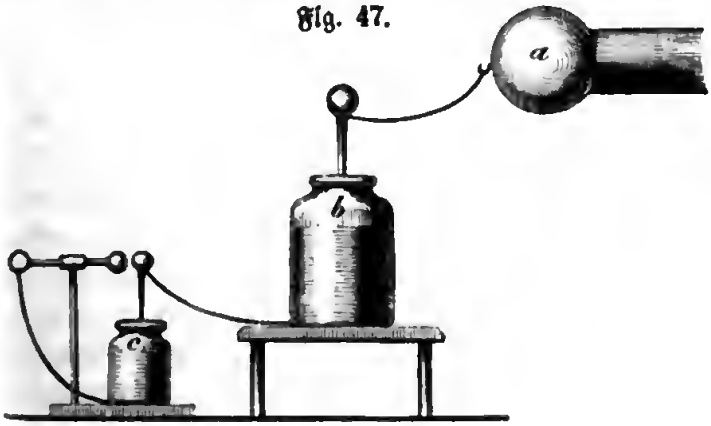
Abria ſchreibt nun dieſe Wirkung der mechaniſchen Erſchütterung zu, welche das Ueberſchlagen des Funkens in die Luft bewirkt, und unterſtützt dieſe Anſicht dadurch, daß er ähnliche Erſcheinungen durch kleine Exploſionen hervorbringt.

Läßt man auf einer bepulverten Marmorplatte kleine Seifenblaſen, die mit Knallgas gefüllt, explodiren, oder bringt man die Erſchütterung durch Aufwerfen von Knallerbſen auf der beſtäubten Platte hervor, ſo erhält man ähnliche Kurven, die jedoch bei Anwendung der Knallerbſen nicht ſo regelmäßig werden, wie bei den Exploſionen kleiner Knallgasblaſen.

Maaß für die Ladung der Batterie. Um die Quantität der auf 29
einer Flaſche oder einer Batterie angehäuften Elektricität zu meſſen, wandte Rieß folgendes Verfahren an. (P. A. 40. 321.)

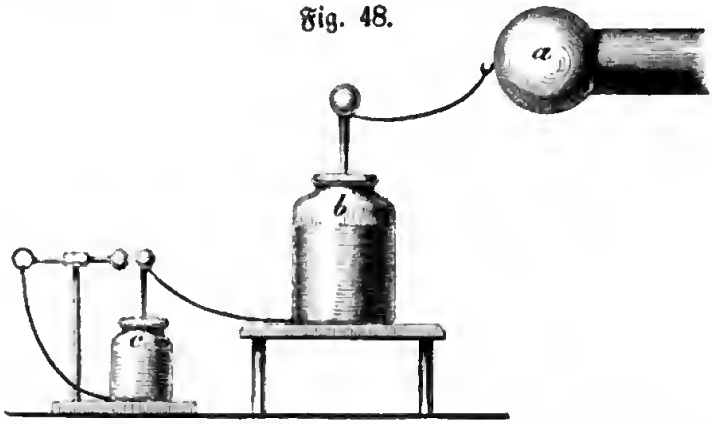
Die zu ladende Flaſche oder Batterie *b* Fig. 47, wurde auf einen durch

Fig. 47.



Glasfüße iſolirten Tiſch geſetzt, und ihre innere Belegung mit dem Conductor *a* der Elektriſirmaſchine, die äußeren aber mit der inneren Belegung der Lane'ſchen Maaßflaſche *c* verbunden. Die äußere Belegung

Fig. 48.



der Maaßflaſche wurde durch einen hinlänglich dicken Draht mit einer großen Metallfläche (ein Zinkdach) in Verbindung geſetzt, ſo daß man einer vollkommnen Ableitung verſichert ſeyn konnte.

Wird nun der Batterie von dem Conductor der Maſchine her $+E$ zugeführt, ſo wird die abgeſtoßene $+E$ von der äußeren Belegung der Batterie zur inneren der Maaßflaſche wandern, und die Ladung derſelben bewirken; hat aber dieſe Ladung eine gewiſſe Grenze erreicht, ſo erfolgt eine Entladung der Maaßflaſche, ſo daß nun von neuem $-E$ von der inneren Belegung der Maaßflaſche zur äußeren der Batterie übergehen kann, weil ja der urſprüngliche Zuſtand der inneren Belegung der Maaßflaſche durch die Entladung bis auf ein unbedeutendes Reſiduum, welches aber bei allen folgenden Entladungen daſſelbe bleibt, wieder hergeſtellt worden iſt. So oft alſo bei fortgeſetztem Drehen der Maſchine eine Entladung der Lane'ſchen Flaſche erfolgt, ſo oft iſt auf die äußere Belegung der Batterie dieſelbe Menge $-E$ übergegangen, ſo oft iſt alſo auch die Ladung der Batterie um dieſelbe Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung der Batterie iſt alſo der Anzahl der Selbſtentladungen der Maaßflaſche proportional.

Die Entfernung der Kugeln der Maaßflaſche war bei den Rieß'ſchen Verſuchen bald $\frac{1}{2}'''$, bald $1'''$; doch blieb ſie bei einer und derſelben Verſuchsreihe ſtets dieſelbe.

Rieß bezeichnet die auf die äußere Belegung der Batterie übergegangene E Menge durch q. Die Einheit, durch welche q gemeſſen wird, iſt die Elektricitätsmenge, welche bei jeder Selbſtentladung der Maaßflaſche der Batterie zugeführt wird. Alſo $q = 8$ heißt ſo viel als: die Ladung der Batterie iſt ſo lange fortgeſetzt worden, bis 8 Entladungen der Maaßflaſche ſtattgefunden hatten.

Die Dichtigkeit der elektriſchen Ladung der Batterie hängt nicht allein ab von der Quantität der ihr zugeführten E, ſondern auch von der Größe der Oberfläche, auf welcher ſie ſich verbreitet. Wird dieſelbe Elektricitätsmenge auf die doppelte, dreifache u. ſ. w. Oberfläche verbreitet, ſo wird ihre Dichtigkeit auch 2mal, 3mal geringer werden, kurz die Dichtigkeit der E iſt alſo der Größe der Oberfläche der Batterie umgekehrt, der Quantität der zugeführten E aber direct proportional, die Dichtigkeit der E auf einer geladenen Batterie läßt ſich alſo ausdrücken durch

$$\frac{q}{s},$$

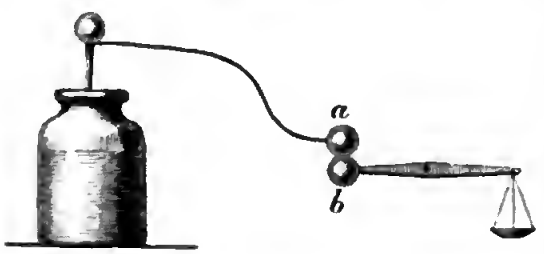
wenn q die Quantität der zugeführten E, s aber die Größe der Oberfläche bezeichnet.

Rieß wandte zu ſeinen Verſuchen Flaſchen an, die ſo viel als möglich gleich waren, ſo daß die Oberfläche der Batterie der Anzahl der Flaſchen proportional iſt. Die Oberfläche einer Flaſche werde als Flächeninhalt angenommen.

Um genaue Reſultate zu erhalten, muß die Ladung der Batterie continuirlich, nicht durch vom Conductor aus überſpringende Funken geſchehen.

Abſtoßung an der inneren Belegung der Batterie. Wenn man mit der inneren Belegung der erſten Flaſche einer Batterie einen Draht verbindet, der mit einer Metallkugel endigt, ungefähr ſo, wie es Fig. 49 angedeutet iſt, ſo wird ſich auch auf dieſer Kugel die freie Elektricität der innern Belegung der geladenen Batterie verbreiten. — Mit dieſer Kugel a ſey nun eine zweite Kugel b in Berührung, die an dem einen Ende eines Glasſtabes befeſtigt iſt, der um ſeine Mitte leicht drehbar iſt, und an ſeinem andern Ende eine kleine Wagſchale trägt. Die Wagſchale iſt ſo belaſtet, daß ſie der Kugel b gerade das Gleichgewicht hält. 30

Fig. 49.



Der Glasſtab war 12″ lang, und hatte in der Mitte eine Faſſung mit ſtählernen Zapfen, mit welchen er auf den rundgeſchliffenen Kanten zweier Agatplatten auflag.

Es wurde nun 1, 2, 3, 4 Gran auf die Wagſchale gelegt, und ermittelt, welche Quantität E man aus der Maaßflaſche auf die äußere Belegung der Batterie übergehen mußte, bis die Kugel b abgeſtoßen wurde.

Als die Batterie nur aus einer Flaſche beſtand, und 1 Gran aufgelegt

war, erfolgte die Abſtoßung nach 2, als 3 Gran auflagen, erſt nach 4 Entladungen der Maaßflaſche.

Jeder Verſuch wurde 2mal gemacht und aus beiden das Mittel genommen. Dann wurden dieſelben Verſuche auch mit einer Batterie von 2, 3 . . . bis 5 Flaſchen wiederholt. Die Reſultate dieſer Verſuche ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt.

s	1	2	3	4	5
p	q	q	q	q	q
1	2,0	4,5	7,0	8,7	10,0
2	3,5	6,0	10,0	12,0	15,5
3	4,0	7,7	11,7	15,0	20,0
4	4,5	9,0	13,3	17,7	24,0

Die Quantität 4,5 hebt dieſer Tabelle zufolge eine Laſt von 4 Gran, wenn nur 1 Flaſche angewendet wird, während dieſelbe Quantität 4,5 auf 2 Flaſchen vertheilt, nur 1 Gran hebt; der Effect iſt alſo (bei gleicher Quantität) dem Quadrat der Oberfläche umgekehrt proportional, da ja bei doppelter Oberfläche eine 4mal geringere Wirkung entſteht.

Betrachten wir die Verſuchsreihe mit 2 Flaſchen. Die Quantität 4,5 hebt 1 Gran, die doppelte Quantität 9,0 hebt die vierfache Laſt, nämlich 4 Gran; bei gleicher Oberfläche iſt demnach hier die gehobene Laſt, alſo die Stärke der Abſtoßung, dem Quadrat der Quantität proportional.

Aus den eben betrachteten Zahlen ſchließen wir alſo, daß die Abſtoßung der Kugeln direct dem Quadrat der elektriſchen Quantität, umgekehrt aber das Quadrat der Oberfläche proportional iſt, daß alſo

$$p = a\,\frac{q^2}{s^2} = a\left(\frac{q}{s}\right)^2,$$

oder daß die Abſtoßung der Kugeln dem Quadrat der Dichtigkeit der E proportional iſt, da ja $\frac{q}{s}$ dieſe Dichtigkeit bezeichnet.

Wir haben dies Geſetz aus drei willkürlich ausgeſuchten Beobachtungen abgeleitet, wir müſſen noch zeigen, wie weit auch die übrigen Beobachtungen damit übereinſtimmen.

Dieſem Geſetze zufolge wird bei gleicher Flaſchenzahl die doppelte elektriſche Quantität die 4fache Wirkung hervorbringen; es müſſen alſo die Werthe von q, welche in der unterſten Horizontalreihe ſtehen, doppelt ſo groß ſeyn, als die in derſelben Vertikalreihe zu oberſt ſtehenden Werthe

von q. Dies iſt jedoch nur für die mit 2 überſchriebene Vertikalreihe ſtreng wahr; die Quotienten

$$\frac{4,5}{2} = 2,25; \quad \frac{13,3}{7} = 1,90; \quad \frac{17,7}{8,7} = 2,03; \quad \frac{24}{10} = 2,40$$

weichen mehr oder weniger von 2 ab. Nimmt man aber aus allen 5 Quotienten (den Quotienten $\frac{9,0}{4,5} = 2$ mitgerechnet) das Mittel, ſo erhält man die Zahl 2,11, welche in der That ſehr nahe gleich 2 iſt.

Die Quotienten, welche man erhält, wenn man mit dem Werthe von q in der oberſten Horizontalreihe in die unter ihnen der zweiten dividirt, ſollten nach dem Geſetz $= \sqrt{2} = 1,41\ldots$ ſeyn. Das Mittel aus den 5 Quotienten iſt 1,48.

Wenn man auf dieſelbe Weiſe die Zahlen der erſten und dritten Horizontalreihe vergleicht, ſo erhält man als Mittel aus den 5 Quotienten den Werth 1,82, während dem Geſetz zufolge dieſer Quotient $\sqrt{3} = 1,73\ldots$ ſeyn ſollte.

Da nach dem oben ausgeſprochenen Geſetze die Abſtoßung dem Quadrate der Dichtigkeit proportional iſt, ſo muß bei gleicher Wirkung, alſo bei gleichem Werthe von p die elektriſche Quantität im Verhältniß der Fläche wachſen; die Zahlen der mit 2 überſchriebenen Vertikalreihe müſſen alſo doppelt ſo groß ſeyn, als die in gleicher Horizontalreihe unter 1 ſtehenden; oder mit andern Worten, die Quotienten $\frac{4,5}{2}, \frac{6,0}{3,5}, \frac{7,7}{4,0}, \frac{9,0}{4,5}$ müßten alle gleich 2 ſeyn. Berechnet man dieſe Quotienten, nimmt man dann aus ihnen das Mittel, ſo erhält man die in der That wenig von 2 abweichende Zahl 1,97.

Vergleicht man auf dieſelbe Weiſe die dritte, vierte und fünfte Vertikalreihe der Werthe von q mit der erſten, ſo erhält man als Mittelwerthe die Quotienten

	3,05	3,84	4,94
ſtatt	3	4	5

Man ſieht, daß die Mittelzahlen ziemlich gut mit dem Geſetz harmoniren.

Schon durch Coulomb's Verſuche iſt bewieſen, daß zwei iſolirte Leiter, welche in Berührung ſind, nachdem ſie eine elektriſche Ladung erhalten haben, ſich mit einer Kraft abſtoßen, welche dem Quadrat der elektriſchen Dichtigkeit proportional iſt.

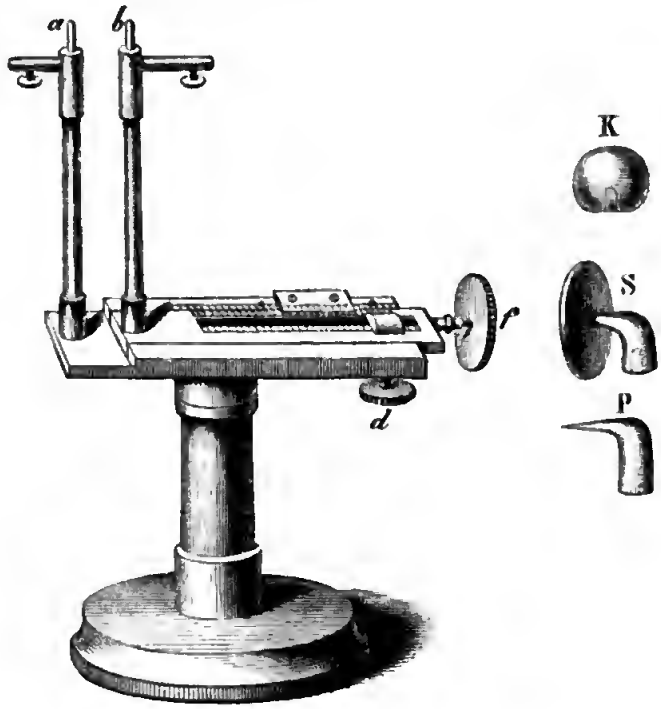
In den bisher beſprochenen Verſuchen iſt nun aber nicht direct die Dichtigkeit E auf die Kugeln, ſondern die Quantität der E gemeſſen worden, welche auf der äußeren Fläche der Batterie gebunden iſt. Die Ueber-

einſtimmung unſerer Reſultate mit dem Coulomb'ſchen Geſetze beweiſ't alſo, daß die Dichtigkeit der freien E der inneren Belegung (welche die Abſtoßung der Kugeln bewirkt) zu der gebundenen auf der äußeren Belegung ſtets in demſelben Verhältniſſe ſteht, oder mit andern Worten, daß der Condenſationscoefficient von der Quantität der E im Innern der Batterie unabhängig iſt.

31 **Schlagweite der Batterie.** Die Verſuche von Rieß über dieſen Gegenſtand (P. A. 40. 332) beſtätigen die Thatſache, welche ſchon durch Lane und Harris ermittelt war, daß die Schlagweite der Batterie die Dichtigkeit der E proportional iſt.

Um die Schlagweite der Batterie genau meſſen zu können, wandte Rieß einen Apparat an, welchen er das Funkenmikrometer nennt, und der in Fig. 50 abgebildet iſt.

Fig. 50.



Jeder der Meſſingzapfen a und b befindet ſich an einem Meſſingſtück, welches einen horizontalen Arm zum Einklammern von Drähten hat und durch eine Glasſäule iſolirt iſt. Der eine Stab iſt feſt, der andere ſteht auf einem Schlitten, welcher mittelſt der Führſchraube f längs einer Theilung bewegt wird. Löſ't man die Schraube d, ſo kann man den Schlitten frei mit der Hand verſchieben, iſt aber d angezogen, ſo ge-

schieht die feinere Stellung vermittels der Schraube f, in dem durch Anziehen von d die Mutter der Schraube f auf die untere Metallplatte festgedrückt wird. Der ganze Apparat steht auf einem Glasfuß von $2\frac{1}{2}$ Zoll Länge. Auf die Zapfen a und b können verschiedene Metallkörper aufgesteckt werden; Kugeln K von $6\frac{1}{2}$, Scheiben S von $8\frac{1}{2}$ Linien Durchmesser, Spitzen P u. s. w.

Bei den zunächst zu betrachtenden Versuchen waren Kugeln aufgesteckt.

Die Versuche sind in folgender Weise angestellt. Der eine Zapfen ist mit der inneren, der andere mit der äußeren Belegung in gut leitende Verbindung gebracht. Die Ladung der Flasche oder Batterie geschah auf die bekannte Weise durch die Lane'sche Flasche. Es wurde beobachtet, wie viel Funken in der Maaßflasche überspringen mußten, bis eine Entladung der Batterie bei einer bestimmten Entfernung d den Kugeln des Funkenmikrometers erfolgte. Als Einheit für d ist $1\frac{1}{2}$ Linien genommen.

Die Resultate der Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt; s und q haben die bekannte Bedeutung.

s	2	3	4	5
d	q	q	q	q
1	—	3	3,5	4,3
2	3	5,5	7	8,5
3	4,6	8,0	10,1	12,5
4	6,4	10,3	13,5	16
5	7,5	—	16	—

Vergleicht man irgend einen Werth von q mit den in derselben Vertikalreihe unter ihm stehenden, so ist der Quotient nahe derselbe wie der dem entsprechenden Werthe von d. Nehmen wir z. B. die mit 4 überschriebene Vertikalreihe, also den Fall, wo eine Batterie von 4 Flaschen angewendet wurde, so sehen wir, daß die Quantität 3,5 die Schlagweite 1 giebt, während die doppelte, die vierfache Schlagweite auch die doppelte, die vierfache Quantität, nämlich $7 = 2.3{,}5$ und 13,5 nahe gleich $4.3{,}5$ erfordert. Die Schlagweite ist also bei einer und derselben Batterie stets der Quantität q der zugeführten E proportional.

Dies bestätigen auch die anderen Versuche. Die Zahlen der zweiten Horizontalreihe der Werthe von q dividirt durch die der ersten, geben als Mittel den Quotienten 1,92, also nahe 2, welches der Quotient der entsprechenden Schlagweiten 2 und 1 ist.

Die zweite und dritte, die zweite und vierte, die zweite und fünfte Horizontalreihe der Werthe von q geben auf dieſe Weiſe, verglichen als Mittelwerthe, die Quotienten

$$1{,}47 \qquad 1{,}95 \qquad 2{,}39$$

alſo nahe $1{,}5 = 3/2 \qquad 2 = 4/2 \qquad 2{,}5 = 5/2$,

welches die Verhältniſſe der entſprechenden Schlagweiten ſind.

Die elektriſche Quantität 10,3 giebt auf 3 Flaſchen vertheilt die Schlagweite 4; dieſelbe elektriſche Quantität (faſt dieſelbe, nämlich 10,1) auf 4 Flaſchen vertheilt, giebt nun die Schlagweite 3. Wenn alſo bei gleicher elektriſcher Quantität die Oberfläche im Verhältniß von 3 zu 4 wächſt, ſo nimmt die Schlagweite im umgekehrten Verhältniß, nämlich von 4 : 3 ab; die Schlagweite verhält ſich alſo direct wie die elektriſche Quantität und umgekehrt wie die Oberfläche, es iſt alſo

$$d = b \frac{q}{s}$$

oder mit anderen Worten: die Schlagweite iſt der Dichtigkeit der angehäuften E proportional.

Wenn dies Geſetz allgemein wahr ſein ſoll, wenn alſo die Schlagweite der Oberfläche der Batterie umgekehrt proportional, der elektriſchen Quantität aber direct proportional iſt, ſo muß bei gleicher Schlagweite die elektriſche Quantität in demſelben Verhältniß wachſen wie die Oberfläche.

In obiger Tabelle müſſen demnach die Zahlen einer und derſelben Horizontalreihe ſich ſtets verhalten wie die über ihnen ſtehenden Werthe von s. Es müßte alſo $\frac{5{,}5}{3}, \frac{8{,}0}{6}, \frac{10{,}3}{6{,}4}$ gleich $3/2$, ferner $\frac{3{,}5}{3}, \frac{7{,}0}{5{,}5}, \frac{10{,}1}{8{,}0}, \frac{13{,}5}{10{,}3}$ gleich $4/3$ u. ſ. w. ſeyn, was auch im Mittel nahe zutrifft.

Rieß fand das Geſetz, daß die Schlagweite der Dichtigkeit der angehäuften E proportional iſt, auch für den Fall beſtätigt, daß er die Funken zwiſchen zwei parallelen Metallſcheiben, oder zwiſchen einer Kugel und einer Scheibe überſchlagen ließ.

Nur fand er, daß unter ſonſt gleichen Umſtänden die Schlagweite zwiſchen zwei Scheiben größer iſt, als zwiſchen zwei Kugeln, und daß bei parallelen Scheiben die Funken nicht in der Mitte, ſondern am Rande oder doch in der Nähe des Randes überſchlagen. Für eine Kugel und eine Scheibe iſt die Schlagweite größer als für zwei Kugeln und kleiner als für zwei Scheiben.

32 **Schlagweite der Batterie unabhängig vom Schließungsbogen.** Man war früher der Anſicht, daß die Schlagweite der Batterie von der Natur des Schließungsbogens abhängig ſey, daß ſie größer ſey bei gut me-

tallischer Schließung, kleiner bei schlechter Schließung. Rieß hat gezeigt, daß dies nicht der Fall ist (P. A. 53. 1.).

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt. Der eine Zapfen des Funkenmikrometers war mit der inneren Belegung der Batterie durch einen dicken Kupferdraht verbunden; ein zweiter dicker Kupferdraht führte von dem anderen Zapfen zu dem einen Arm des Henley'schen Ausladers, dessen anderer Arm mit der äußeren Belegung der Batterie in gut leitender Verbindung war. Zwischen dem Arme des Ausladers wurde nun der Reihe nach eingeschaltet:

1) ein 4‴ langer, ½‴ dicker Kupferdraht,
2) ein 102″ langer, 0,052‴ dicker Platindraht,
3) eine mit Wasser gefüllte Glasröhre 8,3″ lang, 4,5‴ dick,

also einmal eine sehr vollkommene, einmal eine metallische, aber doch unvollkommene und endlich eine sehr unvollkommene Schließung.

Die Resultate der Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt

		Einschaltung in dem Schließungsbogen.		
		Kupferdraht.	Platindraht.	Wasserröhre.
s	d	q	q	q
3	1	6	6	6
	2	10,2	10,5	10,5
	3	15	15	14,5
4	1	8	8	8
	2	14,5	14	14
	3	21,5	19,7	19,5
5	1	10	10	11
	2	18	19	19
	3	27	25,5	26

Man sieht aus dieser Tabelle, daß bei gleicher Flaschen-Zahl s, bei gleicher Entfernung d den Kugeln des Funkenmikrometers auch der Werth von q immer fast ganz genau gleich ist, mag nun der Platindraht, der Kupferdraht oder die Wasserröhre eingeschaltet seyn, bei gleicher Ladung ist also die Schlagweite dieselbe, auf welche Weise der Schließungsbogen auch zusammengesetzt ist.

Die Schlagweite der elektrischen Batterie ist also gänz-

lich unabhängig von der Beſchaffenheit des Schließungsbogens, vorausgeſetzt, daß die Flächen, zwiſchen welchen die Entladung ſtattfindet, unverändert bleiben.

Während die Schlagweite durch die Natur des Schließungsbogens nicht alterirt wird, hat dieſe auf die Funken ſelbſt großen Einfluß. Fünf Flaſchen einer Batterie geben bei einer gewiſſen Ladung und bei Anwendung des Kupferdrahts $1\frac{1}{2}$ Linien lange Funken von einem unerträglichen Glanz mit einem ſchmetternden Knalle, während bei Anwendung des Platindrahtes bei gleicher Ladung ein Funke von gleicher Länge, aber ſchwachem Lichte. und dumpfem Schalle erhalten wurde und die Waſſerröhre einen kaum merklichen Funken erſcheinen ließ.

33 **Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung in der Schlagweite verſchwindet.** Wenn die Batterie in der Schlagweite entladen wird, ſo bleibt noch eine merkliche Ladung zurück, welche bei größerer Annäherung der Kugeln einen zweiten Entladungsfunken giebt. Man kann ſich von der Thatſache leicht ſchon mit der Maaßflaſche allein überzeugen. Man ſtelle die Kugeln der Maaßflaſche etwa 2 Linien auseinander und lade bis zum Ueberſpringen des Funkens; nähert man nun die Kugeln einander, ſo wird alsbald ein zweiter Funken überſpringen.

Rieß hat in dem zuletzt erwähnten Aufſatz gezeigt, daß die Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung der Batterie in der Schlagweite verſchwindet, immer in demſelben Verhältniß zur ganzen Ladung ſteht, und daß ſie dieſelbe ſey, mag nun der Schließungsbogen aus beſſer oder ſchlechter leitenden Metalldrähten zuſammengeſetzt ſeyn.

Der Verſuch war ganz ſo arrangirt wie die Verſuche, deren Reſultat in der letzten Tabelle zuſammengeſtellt ſind; bei einer Verſuchsreihe war der Kupferdraht, bei der anderen der Platindraht im Henley'ſchen Auslader. Nachdem die Entladung in der Schlagweite ſtattgefunden hatte, nachdem alſo ein Theil der Batterieladung verſchwunden war, wurde der Batterie von neuem Elektricität zugeführt, bis abermals eine Entladung in der Schlagweite ſtattfand. Es wurde alſo gezählt, wieviel Funken der Entladungsflaſche nöthig waren, um die erſte Entladung der Batterie zu bewirken, alsdann aber wieviel Funken der Maaßflaſche nöthig waren, um die bei der erſten Entladung verſchwundene Elektricitätsmenge wieder zu erſetzen.

Wie groß unter verſchiedenen Umſtänden die ganze Ladung war, als die Entladung in der Schlagweite erfolgte, ſehen wir aus der vorigen Tabelle, wieviel Elektricität alsdann aber der Batterie von neuem zugeführt werden mußte, um die zweite Entladung und der Schlagweite zu erhalten, ſehen wir aus der folgenden Tabelle.

		Einſchaltung in dem Schließungsbogen.	
		Kupferdraht 4‴.	Platindraht 102‴.
s	d	q'	q'
3	1	5	5
	2	8,8	8,7
	3	13	12,5
4	1	6,5	6,5
	2	12,5	11,7
	3	17	17
5	1	9	9
	2	15	16,5
	3	22,5	22,5

Zunächſt ſehen wir aus dieſer Tabelle, daß die Elektricitätsmenge q', welche man nach der erſten Entladung in die Schlagweite der Battrie zuführen mußte, um eine abermalige Entladung in der Schlagweite zu bewirken, alſo die Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung in der Schlagweite vernichtet wird, faſt immer ganz dieſelbe iſt, mag nun der kurze Kupferdraht oder der lange Platindraht eingeſchaltet ſeyn.

Bei 3 Flaſchen und der Entfernung 1 der Kugeln des Funkenmikrometers war die Elektricitätsmenge $q=6$ zur erſten Entladung nöthig; um nun die zweite Entladung zu bewirken, mußte der Batterie abermals die Elektricitätsmenge $q'=5$ zugeführt werden; bei der Entladung in der Schlagweite 1 waren alſo $^5/_6$ der ganzen Ladung verſchwunden, oder mit anderen Worten $\frac{q'}{q}$, war gleich $^5/_6=0{,}833\ldots\ldots$

Für $s=4$, $d=1$, war $q=8$, $q'=6{,}5$, alſo $\frac{q'}{q}=\frac{6{,}5}{8}=0{,}812\ldots.$

Für $s=5$, $d=1$, war $q=10$, $q'=9$, alſo $\frac{q'}{q}=^9/_{10}=0{,}9.$

Für $s=5$, $d=3$ war $q=27$, $q'=22{,}5$, alſo $\frac{q'}{q}=\frac{22{,}5}{27}=0{,}833\ldots$

Für $s=4$, $d=2$, war $q=14{,}5$, $q'=12{,}5$, alſo $\frac{q'}{q}=\frac{12{,}5}{14{,}5}=0{,}862.$

Man ſieht alſo, daß unter den verſchiedenſten Umſtänden bei der Ent-

ladung in der Schlagweite immer ſehr nahe derſelbe Antheil der ganzen Ladung verſchwindet. Als Mittel aus allen in den beiden letzten Tabellen angeführten Verſuchen ergiebt ſich, daß ſowohl bei guter als auch bei ſchlechter metalliſcher Schließung bei der Entladung in der Schlagweite 0,846 oder $^{11}/_{13}$ der ganzen Ladung verſchwinden, daß alſo noch $^{2}/_{13}$ der ganzen Ladung zurückbleiben.

Als Rieß ſtatt der Kugeln parallele Metallplatten auf das Funkenmikrometer aufſetzte, ergab eine Verſuchsreihe für $\frac{q'}{q}$ im Mittel den Werth 0,849; und als noch eine Unterbrechung von 0,3‴ im Schließungsbogen angebracht wurde, ergab ſich $\frac{q'}{q}=0{,}842$, alſo faſt genau derſelbe Werth für die in der Schlagweite verſchwundene Elektricitätsmenge.

Wahrſcheinlich iſt der Werth von $\frac{q'}{q}$ von der Dicke des Glaſes der Batterie abhängig, doch ſind darüber bis jetzt noch keine Verſuche gemacht.

34 **Erfolg bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren.** Aus dieſen Verſuchen läßt ſich der Vorgang leicht bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren beſtimmen, wo eine mit der äußeren Belegung verbundene bewegliche Kugel der feſten Kugel der inneren Belegung bis zur Berührung genähert wird. Wenn die bewegliche Kugel in die Schlagweite, welche wir mit d bezeichnen wollen, gekommen iſt, ſo verſchwinden $^{11}/_{13}$ der Ladung, es bleiben $^{2}/_{13}$ zurück; es kann erſt wieder eine Entladung ſtattfinden, wenn die bewegliche Kugel bis auf $^{2}/_{13}\,d$ genähert iſt, bei welcher Entfernung nun abermals $^{11}/_{13}$ der noch übrigen Ladung verſchwinden; eine dritte Entladung erfolgt, wenn die bewegliche Kugel auf $(^{2}/_{13})^2\,d$ genähert iſt u. ſ. w. Beträgt z. B. die urſprüngliche Schlagweite $1^{1}/_{2}$ Linien, ſo erfolgen die Entladungen bei folgenden Entfernungen:

1,5 0,23 0,035 0,0055 Linien,

bei welchen ſchon die dritte nicht mehr von der Berührung zu unterſcheiden iſt. Bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren wird alſo der Schließungsbogen von mehreren Entladungen ergriffen, die nach einander ſtattfinden.

35 **Erfolg bei der Entladung in der Schlagweite.** Bei der Entladung in der Schlagweite verſchwindet eine ſo bedeutende Menge von Elektricität, daß nicht etwa eine geringe Annäherung der Kugeln eine zweite Entladung zur Folge hat, ſondern daß die Schlagweite auf $^{2}/_{13}$ der urſprünglichen reducirt wird. Daß eine ſo große Menge von Elektricität, daß nämlich $^{11}/_{13}$ der ganzen Ladung verſchwinden, ſcheint darauf hinzudeuten, daß auch die Entladung in der Schlagweite eine ſucceſſive iſt; durch den Uebergang der erſten Elektricitätsmenge wird die Luft verdünnt, und dadurch der Uebergang neuer Elektricitätsmengen möglich gemacht, welche

nicht hätten übergehen können, wenn der zu überwindende Widerſtand nicht durch die Verdünnung der Luft vermindert worden wäre. Der Uebergang der Elektricität dauert fort, bis die Ladung der Batterie ſo ſchwach geworden iſt, daß bei der conſtanten Entfernung der Kugeln trotz des wegen der verdünnten Luft geringen Widerſtandes kein Funken mehr übergehen kann. Hat nun die Luft zwiſchen den Kugeln ihre gewöhnliche Dichtigkeit wieder erlangt, ſo iſt nun eine bedeutende Annäherung der Kugeln nöthig, um eine abermalige Entladung möglich zu machen. Bei der Entladung in der Schlagweite wird alſo ihre Elektricität ſucceſſiv vernichtet.

Ein Beweis für dieſe ſucceſſive Entladung iſt der Umſtand, daß der Reſt der Entladung viel bedeutender bleibt, daß alſo eine geringere Menge von Elektricität bei der Entladung vernichtet wird, wenn ſchon die erſte übergehende Elektricitätsmenge eine Unterbrechung des Schließungsbogens veranlaßt, wie dies z. B. der Fall iſt, wenn ein dünner, in dem Schließungsbogen eingeſchalteter Draht durch den Entladungsſchlag geſchmolzen wird, ein Fall, den wir ſpäter noch genauer betrachten werden.

Ein weiterer Beweis für die ſucceſſive Entladung in der Schlagweite iſt auch der Umſtand, daß die rückſtändige Ladung viel bedeutender iſt, wenn man in den Schließungsbogen eine Röhre mit Waſſer einſchaltet.

Statt des ſchon auf S. 97 beſprochenen Kupferdrahts oder Platindrahts wurde die daſelbſt beſprochene Glasröhre mit Waſſer eingeſchaltet, und eine mit dieſem Schließungsbogen angeſtellte Verſuchsreihe gab folgende Reſultate.

s	d	Ganze Ladung. q	Hinzukommende Ladung. q'
3	1	6	3,5
	2	10,5	7
	3	14,5	10,5
4	1	8	4,5
	2	14	9
	3	19,5	13,5
5	1	11	5
	2	19	11,7
	3	26	17

Obgleich die Schlagweite unter ſonſt gleichen Umſtänden dieſelbe iſt, wie bei metalliſcher Schließung, ſo iſt doch die Menge der Elektricität, welche bei der Entladung in der Schlagweite verſchwindet, viel geringer als bei metalliſcher Schließung. Während bei metalliſcher Schließung $\frac{q'}{q} = {}^{11}/_{13}$ 0,846 war, iſt ſie hier nur $^5/_8 = 0{,}625$; der Reſt der Ladung betrug alſo dort $^2/_{11} = 0{,}154$; hier iſt er $^3/_8 = 0{,}375$, der Rückſtand iſt alſo hier mehr als doppelt ſo groß.

Rieß erklärt dies auf folgende Weiſe. Wenn eine Batterie geladen iſt, ſo ſteht die Elektricitätsmenge auf der äußeren und inneren Belegung in einem beſtimmten Verhältniß. Auf der inneren Belegung iſt ein Ueberſchuß, welcher ein aliquoter Theil der ganzen auf der inneren Belegung befindlichen Elektricitätsmenge iſt. Auch die Menge der auf der äußeren Belegung gebundenen Elektricität ſteht in einem beſtimmten Verhältniß zu dieſem Ueberſchuß. — Im erſten Moment der Entladung wird nun gleich viel Elektricität von der inneren und äußeren Belegung verſchwinden, jenes Verhältniß iſt alſo zerſtört, es iſt jetzt verhältnißmäßig mehr freie Elektricität auf der inneren Belegung als beim Zuſtand vollkommener Ladung, und dadurch wird die fernere Entladung befördert. Iſt nun aber die Waſſerröhre eingeſchaltet, ſo iſt dadurch die Entladung ſo ſehr verzögert, daß der Ueberſchuß der inneren Belegung durch das Glas hindurchwirkend aus den Umgebungen die entgegengeſetzte Elektricität nach der äußeren Belegung ziehen kann, daß er alſo hier vollſtändiger gebunden, und ſein Uebergang zwiſchen den Kugeln des Funkenmikrometers dadurch gehindert wird. Es ſpricht alſo dieſe Erſcheinung ebenfalls ſchon für die ſucceſſive Entladung in der Schlagweite.

36 **Erwärmung im Schließungsbogen der elektriſchen Batterie.** Um Verſuche über die Erwärmung dünner Dräthe durch den Entladungsſchlag der Batterie anzuſtellen, wandte Rieß nach Harri's Vorgang ein Luftthermometer an, durch deſſen etwas große Kugel der Drath ausgeſpannt war. Die Röhre dieſes Thermometers, eng im Vergleich zur Kugel, war ſchräg nach unten gekehrt, und endigte mit einem aufwärts gebogenen weiteren Gefäße, ſo daß ein Faden dieſer Flüſſigkeit in die Thermometerröhre hineinragte.

Die Skale der Thermometerröhre war in Linien getheilt. Dieſes Thermometer iſt Fig. 51. abgebildet.

Durch den Entladungsſchlag wurde nun der Drath, und in Folge deſſen auch die Luft in der Kugel erwärmt, die Flüſſigkeitsſäule in der Röhre niedergedrückt. Die in Linien ausgedrückte Depreſſion der Flüſſigkeitsſäule iſt als Maaß der Erwärmung zu betrachten.

Eine genauere Beſchreibung des Luftthermometers wird weiter unten folgen.

Fig. 51.

Die Resultate einer Versuchsreihe mit einem 0,0547‴ dicken Platindrathe sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

s	2	3	4	5	6
q	h	h	h	h	h
2	1,5				
3	4,3	3	2	1,5	
4	6,7	4,5	3,2	3,0	2,6
5	9,3	7,0	5,2	4,5	3,8
6	13,4	9,7	7,3	6,5	5,5
7		15	11 0	8,8	7,3
8		17,5	14,1	11,3	9,3
9			17,8	14,3	11,7
10				16,7	14,3

h bezeichnet die in Linien ausgedrückte Depreſſion in der Thermometerröhre, q und s haben ihre frühere Bedeutung.

Nehmen wir an (was ſpäter noch nachgewieſen werden ſoll), daß die Depreſſionen der Temperaturerhöhung des Drahtes proportional ſind, ſo ergiebt ſich aus dieſen Verſuchen, daß die Erwärmung dem Quadrat der elektriſchen Dichtigkeit direct, der Größe der Oberfläche der Batterie aber umgekehrt proportional iſt, oder daß

$$h = n\frac{q^2}{s},$$

dies läßt ſich aus obiger Tabelle leicht ableiten.

Wenn die Depreſſion h dem Quadrat der Quantität q proportional ſeyn ſoll, ſo muß bei gleicher Flaſchenzahl die Quantität 8 eine viermal ſo große Wirkung hervorbringen als die Quantität 4. Für 3 Flaſchen haben wir für $q = 8$, $h = 17{,}5$; für $q = 4$, $h = 4{,}5$; es iſt aber $\frac{17{,}5}{4{,}5} = 3{,}89$, alſo wirklich nahe gleich 4; für 4 Flaſchen wird dieſer Quotient $\frac{14{,}1}{3{,}2} = 4{,}4$; für 5 Flaſchen $\frac{11{,}3}{3} = 3{,}77$ für 6 Flaſchen $\frac{9{,}3}{2{,}6} = 3{,}57$ Im Mittel iſt dieſer Quotient 3,9, alſo ſehr nahe 4.

Die doppelte Quantität entſpricht alſo der vierfachen Wirkung.

Vergleichen wir die Effecte, welche die Quantität 3 hervorbringt, mit der Wirkung der Quantität 9, ſo erhalten wir für 4 Flaſchen den Quotienten $\frac{17{,}8}{2} = 8{,}9$, für 5 Flaſchen $\frac{14{,}3}{1{,}5} = 9{,}53$, im Mittel alſo 9,21. Die dreifache Quantität bringt alſo die neunfache Depreſſion hervor.

Wenn man auf dieſelbe Weiſe die anderen Zahlen der Tabelle vergleicht, ſo findet man, daß wenigſtens im Mittel bei gleicher Flaſchenzahl h der Quadrat von q proportional iſt.

Eben ſo läßt ſich aus der Tabelle zeigen, daß bei gleichem Werth von q ſich h umgekehrt verhält wie s, daß alſo, wenn dieſelbe elektriſche Quantität auf die doppelte der dreifachen Oberfläche vertheilt iſt, die Depreſſion zweimal, dreimal geringer iſt. Dies ergiebt ſich aus der Tabelle wenigſtens im Mittel als ſehr nahe richtig.

Für $s = 3$, $q = 4$ iſt nach obiger Tabelle $h = 4{,}5$. Dieſe Werthe in obige Gleichung geſetzt, kommt

$$4{,}5 = n\frac{16}{3},$$

woraus $n = 0{,}843$.

Berechnet man auf dieſelbe Weiſe den Werth der Conſtanten n aus allen einzelnen Beobachtungen, d. h. aus allen zuſammen gehörigen Werthen

von h, s und q obiger Tabelle, ſo ergiebt ſich n als Mittel aus allen in obiger Tabelle angeführten Verſuchen gleich 0,88.

Einfluß der Dicke der Drähte im Thermometer. Der Werth 37
des Conſtanten n ändert ſich, ſobald ein anderer Draht in die Thermometerkugel eingezogen wird. Rieß wiederholte die Verſuche mit gleich langen aber ungleich dicken Drähten. Ohne die Tabellen, in welchen dieſe Verſuche zuſammengeſtellt ſind, alle hierher zu ſetzen, wollen wir nur die Endreſultate betrachten.

Für Drähte von dem Durchmeſſer

0,119 0,078 0,0547 0,05 0,0225 Linien

fand er im Durchſchnitt den Werth von n gleich

0,18 0,45 0,88 1,02 2,69.

Aus der Gleichung

$$h = n \cdot \frac{q^2}{s}$$

geht hervor, daß wenn man mit Drähten von gleicher Länge, aber ungleicher Dicke Verſuche anſtellt, indem man dieſelbe Batterie (alſo bei gleichem Werthe von s) mit gleicher Ladung (alſo unverändertem Werthe von q) anwendet, daß ſich alsdann die Depreſſionen h verhalten werden wie die Werthe von n, welche dieſen Drahtdicken zukommen. Vergleichen wir aber obige Werthe von n mit den entſprechenden Durchmeſſern der Drähte, ſo finden wir, daß ſich caeteris paribus die Werthe von n, alſo auch die Depreſſionen der Flüſſigkeitsſäule, oder die Erwärmung der Luft in der Kugel des Luftthermometers verhalten wie die Quadrate der entſprechenden Drahthalbmeſſer.

Bezeichnen wir obige Drähte der Dicke nach mit 1, 2, 3, 4 und 5, ſo verhalten ſich die Quadrate der Halbmeſſer des 4ten und 1ſten wie $0{,}05^2$ zu $0{,}119^2$, oder wie 0,0025 zu 0,014169; es iſt aber $\frac{0{,}014169}{0{,}0025} = 5{,}66$ umgekehrt wie die Quadrate dieſer Durchmeſſer verhalten ſich die entſprechenden Werthe von n, denn es iſt

$$\frac{1{,}02}{0{,}18} = 5{,}66.$$

Dividirt man das Quadrat des Durchmeſſers des Drahtes 1 der Reihe nach durch die Quadrate der Durchmeſſer der anderen Drähte, ſo erhält man folgende Quotienten

2,33 4,73 5,66 28,

dividirt man aber den Werth von n für den erſten Draht der Reihe nach in den Werth von n, für den 2ten, 3ten u. ſ. w., ſo erhält man folgende Quotienten

2,5 4,88 5,66 15,

welche ſehr nahe den obigen gleich ſind; nur für den dünnſten Draht differiren die Quotienten 28 und 15 bedeutend.

Laſſen wir dieſen dünnſten Draht unberückſichtigt, ſo folgt aus den übrigen Verſuchen, daß ſich die Werthe des Factors n, folglich auch die Depreſſionen im Luftthermometer oder die Temperaturerhöhungen der Luft in der Kugel umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Durchmeſſer der Drähte; oder mit anderen Worten: Die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel iſt caeteris paribus dem Querſchnitt des Drahtes nmgekehrt proportional; oder in Zeichen:

$$w = \frac{\alpha \cdot q^2}{r^2 s},$$

wo $\frac{\alpha}{r^2}$ ſtatt n in die Gleichung geſetzt iſt und α einem conſtanten Factor bezeichnet.

Wenn alſo ein 2mal, 3mal ſo dicker Draht in das Luftthermometer eingezogen iſt, ſo wird die Erwärmung der Luft in der Kugel 4mal, 9mal geringer ſeyn, wenn ſonſt alles unverändert bleibt.

Die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel iſt offenbar der im Drahte freigewordenen Wärmemenge proportional, was alſo eben von der Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel geſagt wurde, gilt auch von der in den Drähten freigewordenen Wärmemenge.

Ein 2mal, 3mal, 4mal ſo dicker Draht hat bei gleicher Länge eine 4mal, 9mal, 16mal größere Maſſe; wenn nun in dieſen dickeren Drähten eben ſo viel Wärme frei wird, als in den dünneren, ſo hat ſich dieſelbe Wärmemenge über eine größere Maſſe zu verbreiten, die Temperaturerhöhung iſt alſo der Maſſe, mithin dem Quadrat des Halbmeſſers umgekehrt proportional, oder in Zeichen

$$T = \gamma \frac{w}{r^2},$$

wo γ ebenfalls einen conſtanten Factor, T hingegen die Temperaturerhöhung des Drahtes bezeichnet. Aus dieſer letzten Gleichung folgt

$$w = \frac{T r^2}{\gamma},$$

und wenn man dieſen Werth von w dem oben gegebenen gleichſetzt, alſo

$$\frac{T r^2}{\gamma} = \frac{\alpha}{r^2} \frac{q^2}{s},$$

ſo kommt

$$T = \frac{\alpha \gamma}{r^4} \frac{q^2}{s} = \frac{\beta}{r^4} \frac{q^2}{s},$$

d. h. in Worten: die Temperaturerhöhung eines Drahtes iſt caeteris paribus der 4ten Potenz ſeines Halbmeſſers umgekehrt proportional, alſo ein 2mal, 3mal ſo dicker Draht wird,

wenn eine ganz gleiche elektriſche Ladung von derſelben Dichtigkeit durch ihn entladen wird, eine 16mal, 81mal geringere Temperaturerhöhung erfahren, vorausgeſetzt, daß die Drahtlänge unverändert bleibt.

Dieſe Beziehungen gelten natürlich nur ſo lange, als man Drähte von derſelben Subſtanz mit einander vergleicht, da ja jede Subſtanz eine andere ſpecifiſche Wärme hat, alſo für ſie ein anderes Verhältniß zwiſchen Wärmemenge und Temperaturerhöhung ſtattfindet.

Bei den bisher beſprochenen Rieß'ſchen Verſuchen waren Platindrähte in das Thermometer eingeſpannt.

Der letzte ganz dünne Draht paßt nicht mehr in das Geſetz, was Rieß durch die Annahme erklärt: das Geſetz gelte nur für gleiche Entladungszeit und dieſe ſey wirklich als gleich zu betrachten, ſo lange der Durchmeſſer der Drähte nicht über eine gewiſſe Gränze abnehme, ſey dies aber der Fall, ſo verzögern die Drähte die Entladung, und eine Folge dieſer Verzögerung iſt dann eine geringere Temperaturerhöhung.

Seine erſten Verſuche zeigten ihm, daß wenn die Länge des Drahtes in der Kugel zunahm, die Erwärmung etwas geringer wurde.

Einfluß der Länge des Drahtes im Thermometer. Wenn der 38
Draht im Thermometer verlängert wurde, ſo zeigte ſich eine kleine Abnahme in der Erwärmung, was auf eine Verzögerung der Entladung hindeutet. — Wenn aber der Schließungsbogen an und für ſich ganz unverändert bleibt und man die Erwärmung an verſchiedenen Stellen deſſelben unterſucht, ſo zeigt ſich die Erwärmung von der Länge der einzelnen Drahtſtücke unabhängig.

Hätte man z. B. ein Stück Platindraht in das Luftthermometer, ein anderes gleich dickes und doppelt ſo langes in den Henley'ſchen Auslader ausgeſpannt, in den Schließungsbogen gebracht, ſo würde eine Entladung der Batterie eine beſtimmte Depreſſion hervorgebracht haben. Hätte man nun die Platindrähte vertauſcht, hätte man alſo den aus dem Thermometer in den Auslader gebracht und umgekehrt, ſo wäre offenbar der Schließungsbogen unverändert geblieben; dieſelbe Entladung wird aber nun die doppelte Depreſſion hervorbringen. — Nun aber war jetzt die doppelte Platinmaſſe im Thermometer, dieſe hatte die doppelte Wärmemenge abgegeben, die Erwärmung des längeren Platindrahtes war alſo dieſelbe, wie die des kürzeren.

Wir wollen eine der Verſuchsreihen näher betrachten, durch welche Rieß dieſen Satz bewieſen hat. Der Radius des Drahtes im Thermometer war 0,036‴, ſeine Länge 59,7‴. Der Halbmeſſer des Drahtes im Auslader war 0,058‴, ſeine Länge 100,4‴. Es wurde eine Reihe von Verſuchen mit verſchiedener Flaſchenzahl und verſchiedenen Ladungen gemacht, als deren Reſultat

$$h = 0{,}91 \frac{q^2}{s}$$

erhalten wurde. Nun wurden die Drähte vertauſcht. Eine ähnliche Verſuchsreihe gab das Reſultat

$$h = 0{,}56 \frac{q^2}{s}.$$

Wäre der zuletzt ins Thermometer geſpannte Draht eben ſo lang geweſen wie der andere, ſo müßten ſich nach dem vorigen Paragraphen die Depreſſionen verhalten wie die Quadrate der Halbmeſſer, man würde alſo im letzten Falle erhalten haben $h = 0{,}35 \frac{q^2}{s}$. Dieſer Factor von $\frac{q^2}{s}$ verhält ſich zum Factor 0,56 wie 1 zu 1,6. Die Länge des 2ten Drahtes iſt aber ſehr nahe in demſelben Verhältniß, nämlich im Verhältniß von 59,7 zu 100,4 oder 1 zu 1,67 länger.

Die Depreſſion iſt alſo bei der zweiten Verſuchsreihe mit Berückſichtigung der verſchiedenen Durchmeſſer in demſelben Verhältniß größer wie die Drahtlänge zugenommen hat, die Erwärmung in den einzelnen Drahtſtücken iſt alſo von ihrer Länge unabhängig.

Am beſten überſieht man dies, wenn man die wirkliche Temperaturerhöhung der Drähte im Thermometer berechnet; wie dies möglich iſt, ſoll im folgenden Paragraphen gezeigt werden. Für die erſte der eben beſprochenen beiden Verſuchsreihen erhält man dieſe Temperaturerhöhung:

$$T' = 0{,}3975,$$

für die andere

$$T' = 0{,}0592.$$

Dieſe Zahlen verhalten ſich wie 1 zu 6,66; die 4ten Potenzen der entſprechenden Drahthalbmeſſer verhalten ſich wie 1 zu 6,738. Die Erwärmungen verhalten ſich alſo wirklich ſehr nahe wie die 4ten Potenzen der Drahthalbmeſſer und ſind von der Länge der Drahtſtücke unabhängig.

39 **Einfluß der Unterbrechungen im Drathe auf die Erwärmung.** Wenn eine Unterbrechung im Schließungsdrahte ſtattfindet, ſo hat dies einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung. Waren die beiden Drahtenden der Unterbrechung zugeſpitzt, ſo fiel die Erwärmung ſtets geringer aus, als bei ununterbrochener Schließung, und zwar um ſo geringer, je weiter die Drahtſpitzen von einander entfernt wurden. Es erklärt ſich dies leicht dadurch, daß das Reſiduum der Batterie um ſo größer wird, je größer die Strecke iſt, auf welche der Funke überſpringen muß, daß alſo eine geringere Menge von Elektricität in dieſem Falle den Draht durchſtrömt, als wenn keine Unterbrechung ſtattfindet.

Auffallende Erſcheinungen ergaben ſich, als Rieß an den Drahtenden der Unterbrechungsſtelle zwei Meſſingſcheiben von 10,4 Linien Durchmeſ-

ser anbrachte, die einander parallel standen. Die folgende Tabelle enthält einen Theil der von Rieß erhaltenen Resultate:

s	q	Die Scheiben		
		in Berührung.	0,1‴ entfernt.	1‴ entfernt.
		h	h	h
3	3	4,8	4,7	5,3
	4	7,7	7,0	7,0
	5	11,0	10,9	10,3
	6	15,6	14,5	13,7
4	4	6,0	6,0	7,3
	5	8,5	8,5	9,3
	6	12,2	11,9	12,0
	7	15,6	15,5	14,6

Für 0,1‴ Entfernung der Scheiben sind die Erwärmungen sämmtlich kleiner, als bei Berührung derselben, jedoch ist der Unterschied weit unbedeutender, als man nach der Größe des Residuums hätte erwarten sollen. Bei noch größerer Entfernung der Scheiben, für welche also ein noch größeres Residuum bleibt, finden wir aber auffallender Weise zum Theil Erwärmungen, welche selbst größer sind, als für den Fall der Berührung der Scheibe; für schwächere Ladungen ist die Erwärmung größer bei 1‴ Entfernung, als bei Berührung der Scheiben, bei stärkeren Ladungen giebt umgekehrt die Berührung der Scheiben eine stärkere Erwärmung.

Rieß hat dies sehr sinnreich auf folgende Weise wohl ganz richtig erklärt.

Bei Entfernung der Scheiben treten offenbar zwei Umstände ein, welche in entgegengesetztem Sinne auf die Erwärmung des Drahtes im Thermometer wirken. Der eine Umstand ist das schon erwähnte Zurückbleiben eines Theils der Elektricität, des Residuums, in der Batterie, wodurch offenbar die Erwärmung vermindert werden muß. Der andere Umstand, welcher dagegen die Erwärmung erhöht, bedarf etwas weitläufigerer Auseinandersetzung.

Wenn die Entfernung der beiden Scheiben kleiner ist als die Schlagweite der Batterie, so springt ein Funken über zwischen der Kugel der Batterie und der Kugel des Entladers, ein zweiter aber zwischen den beiden Scheiben.

Wenn die Entfernung der beiden Scheiben größer ist als die Schlagweite der Batterie, so kann nun zwischen den Scheiben ein Funken über-

ſpringen, wenn die Kugel des Ausladers ſchon mit der Kugel der Batterie in Berührung iſt. Das Ueberſchlagen des Funkens zwiſchen den Scheiben wird hier nur dadurch möglich, daß überhaupt, wie wir oben (S. 96) geſehen haben, die Schlagweite zwiſchen Scheiben größer iſt, als zwiſchen Kugeln.

Bei dem Ueberſchlagen der Funken zwiſchen Scheiben findet eine Verdichtung der Elektricität am Rande derſelben Statt, und dieſe Verdichtung hat höchſtwahrſcheinlich eine Beſchleunigung der Entladung zur Folge, die ſich durch eine Steigerung der Erwärmung merklich macht.

Dieſer letztere Umſtand, welcher die Erwärmung des Schließungsdrahtes erhöht, kann nur dann auftreten, wenn die Entfernung der Scheiben größer iſt, als die Schlagweite zwiſchen den Kugeln. Die Scheiben mögen eine beſtimmte Entfernung haben. Die Schlagweite zwiſchen den Kugeln ändert ſich mit der Stärke der Ladung, ſie iſt proportional dem Bruch $\frac{q}{s}$, für ſchwächere Ladungen iſt ſie klein, für ſtärkere Ladungen nimmt ſie zu, nur für die ſchwächeren Ladungen wird alſo die Entfernung der Scheiben größer ſeyn als die Schlagweite, nur bei ſchwächeren Ladungen kann alſo die erwähnte Beſchleunigung der Entladung die Erwärmung ſo ſtark vermehren, daß dadurch der entgegengeſetzte Einfluß des Reſiduums überwogen wird.

In der That ſehen wir in der vorigen Tabelle, daß h bei einer Entfernung der Scheiben von $1'''$ nur für $s = 3$ und $q = 3$; $s = 4$ und $q = 4$; $s = 4$ und $q = 5$ größer iſt, als h für den Fall der Berührung der Scheiben. In allen dieſen Fällen iſt $\frac{q}{s}$ nicht größer als 1,25. Für Ladungen, die ſo ſtark ſind, daß $\frac{q}{s}$ größer wird als 1,25, ſind die Erwärmungen der letzten Columne ſämmtlich kleiner, als die entſprechenden Erwärmungen bei Berührung der Scheiben.

Iſt die Entfernung der Scheiben noch größer, als die hier mögliche Schlagweite, ſo tritt natürlich gar keine Entladung ein.

Aehnliches ergab ſich, als ſtatt der Scheiben kleine Kugeln angewandt wurden; die Schlagweite zwiſchen den kleinen Kugeln iſt ein wenig größer, als die Schlagweite zwiſchen den größern Kugeln des Ausladers und der Batterie, daher im günſtigen Fall die Erwärmung der für eine Entfernung der kleinen Kugeln von $1'''$ nur unbedeutend höher ausfiel, als bei Berührung derſelben.

Erwärmung bei erſchwerter Entladung. Wenn an der Unterbrechungsſtelle ein dünner Iſolator eingeſchaltet wird, den der Entladungsſchlag durchbrechen kann, ſo fällt die Erwärmung um ſo geringer aus,

je größer der zu überwindende Widerstand ist, wie folgende Versuchsreihe zeigt.

Die Drahtenden der Unterbrechungsstelle waren mit kleinen Kugeln (5,7 und 4,4 Linien Durchmesser) versehen; es ergab sich für $s = 5$ und $q = 8$; Entfernung der Kugeln 0,2 Linien:

		Erwärmung.
Zwischen den Kugeln:	Luft	15,4
	1 Kartenblatt . .	12,0
	2 Kartenblätter. .	8,8
	Glimmerblatt . .	4,9.

Aehnliches ergab sich, als statt der Kugeln Metallscheiben oder Spitzen die Unterbrechungsstelle begränzten.

Die elektrische Entladung bewirkt also eine um so geringere Erwärmung im Schließungsbogen, je bedeutender das Hinderniß war, welches überwunden werden mußte, bevor die Entladung eintreten konnte.

Es ist hier kein Hinderniß vorhanden, das, wie bei Einschaltung eines langen Leiters in den Schließungsbogen auf die Entladung während der ganzen Dauer derselben verzögernd einwirkt, sondern ein Hinderniß, das die Entladung ganz unmöglich macht, so lange es besteht.

Die Verminderung der Erwärmung ist immer viel bedeutender, als daß man sie dem geringen Residuum zuschreiben könnte; wir müssen demnach aus obigen Versuchen den Schluß ziehen, daß ein Hinderniß, welches an irgend einer Stelle des Schließungsbogens eingeschaltet, vom Entladungsschlag durchbrochen wird, die Dauer der Entladung durch den ganzen übrigen Schließungsbogen vergrößert.

Bedient man sich zum Durchbohren von Glimmerblättern stets einer möglichst geringen Anhäufung von Elektricität, so gelingt es selten, den Glimmer an der Stelle zu durchbohren, wo er gerade den Schließungsdraht unterbricht; fast immer geht die Elektricität auf der Glimmerplatte eine längere Strecke fort und durchbohrt es an einer Stelle, die schon ersichtlich (durch Spaltung) eine geringere Continuität hat. Ist die Ansatzstelle der Leitungsdrähte nicht allzuweit vom Rande des Glimmerblattes entfernt, so findet die Entladung über den Rand hin Statt. Die Erwärmung im Thermometer fällt um so geringer aus, je größer der Weg ist, den die Elektricität auf der Oberfläche des Glimmers zu durchlaufen hat.

Die Spuren, welche die Elektricität auf das Glimmerblatt zurückläßt, sind sehr regelmäßig und zierlich. Rieß hat sie, so wie die entsprechenden Spuren auf Glasröhren, untersucht.

Spuren, welche die Elektricität auf Glas und Glimmer zurückläßt. 41 Rieß brachte eine Glasplatte, 0,37‴ dick, sorgfältig gerei-

nigt und erwärmt, ſo daß ſie ſich am Elektrometer nach allen Richtungen als vollkommen iſolirend erwies, zwiſchen die Spitzen des Schließungsdrahtes, aus welchem das Thermometer entfernt worden war. Die Elektricitätsmenge 15 in 4 Flaſchen geſammelt, entlud ſich über den Rand der Tafel, welche $15^1/_2$''' von der Anſatzſtelle der Spitzen entfernt war, und hinterließ auf beiden Oberflächen Spuren von der Anſatzſtelle bis zum Rande.

Dieſe Spuren ſind einfarbig matt, ſie knirſchen bei der Berührung mit einem glatten Körper, und haben unter der Lupe ganz das Anſehen des mit grobem Sande geritzten Glaſes. Prüft man die Tafel am Elektrometer, indem man die Anſatzſtelle zwiſchen den Fingern faßt, ſo ſieht man, daß das Glas in jenen Streifen ſowohl, wie an vielen nicht markirten Stellen, leitend geworden iſt. Bei Behauchung der Tafel werden alle leitenden Stellen ſichtbar, indem ſie unbenetzt bleiben und mehr oder weniger zahlreiche Veräſtelungen bilden.

Nachdem die Glastafel mit Salpeterſäure abgewaſchen und wieder getrocknet worden war, zeigten ſich jene Streifen immer noch leitend.

Ganz Aehnliches ergab ſich bei andern Glasplatten.

Beim Glimmer iſt das Anſehen der elektriſchen Spuren ganz anders. Von der Anſatzſtelle geht auf beiden Oberflächen continuirlich in gleicher Breite ein geſchlängelter Streifen bis zur Durchbohrungsſtelle, der im durchfallenden Lichte hellgrau gefärbt iſt, im ſchief auffallenden Lichte aber als ein zierlich gefärbtes Band erſcheint, welches von zwei ſcharf gezeichneten dunklen Linien eingefaßt iſt, auf welche eine helle glänzende Franſe folgt; der innere Theil des Bandes zwiſchen den Franſen zeigt verwiſchte Zonen von gelber, blauer, rother und grüner Färbung.

Die Glimmerblätter, welche zu dieſem Verſuche angewandt worden waren, zeigten ſich nach wie vor als gute Iſolatoren, obgleich ſie beim Anhauchen mit unzähligen netzförmigen Verzweigungen bedeckt erſcheinen, die nicht benetzt werden, und welche die Stellen angeben, wo die Elektricität die Oberfläche berührt hat.

Weder in Hinſicht auf die Farbenſtreifen, noch auf die netzförmigen Figuren fand zwiſchen den beiden Oberflächen der Glimmertafel ein weſentlicher Unterſchied Statt.

Bei dem Glaſe ſcheint die Elektricität nur ſprungweiſe in die Maſſe einzudringen und daſelbſt das Kali auszuſcheiden, worauf auch der Umſtand hindeutet, daß die verletzten Stellen nach einiger Zeit ſichtbarer werden, als gleich nach dem Verſuch.

Wird ein Glimmerblatt mit Oel beſtrichen, ſo wird es durch eine Entladung, welche außerdem die Farbſtreifen hervorgebracht haben würde, an der Anſatzſtelle durchbohrt. Es fand ſich dann ein unregelmäßiges Loch

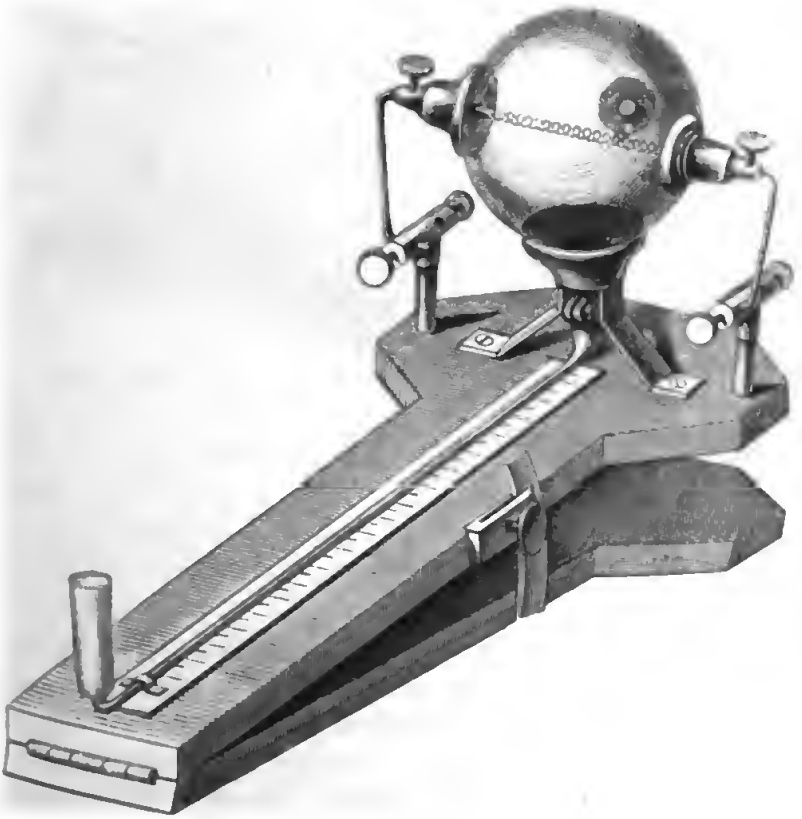
mit verbrannten Rändern und um daſſelbe in geringer Ausdehnung eine Aufſpaltung des Glimmers.

Durch behutſame Verringerung der elektriſchen Anhäufung erhielt Rieß noch mehrere Male trotz der Oelbedeckung Entladung ohne Durchbohrung und dann Farbſtreifen in ziemlicher Länge und Ausbildung nach dem Rande des Blattes oder einer früher durchbohrten Stelle zu, was darauf hinzudeuten ſcheint, daß der Glimmer in der Richtung des Blätterdurchganges die Elektricität beſſer leitet als rechtwinklig auf dieſelbe.

Im Allgemeinen ſind, wie bemerkt, die elektriſchen Spuren auf Glas und Glimmer durchaus unähnlich, es giebt jedoch Glasſorten, welche an der Oberfläche die Elektricität ziemlich gut leiten, auf denen ſich ähnliche Farbſtreifen erzeugen laſſen, wie auf den Glimmer.

Das Luftthermometer. Das Luftthermometer, welches Rieß zu 42
ſeinen Verſuchen anwandte, iſt Fig. 52 nach einem von Kleiner in Berlin verfertigten Exemplare abgebildet.

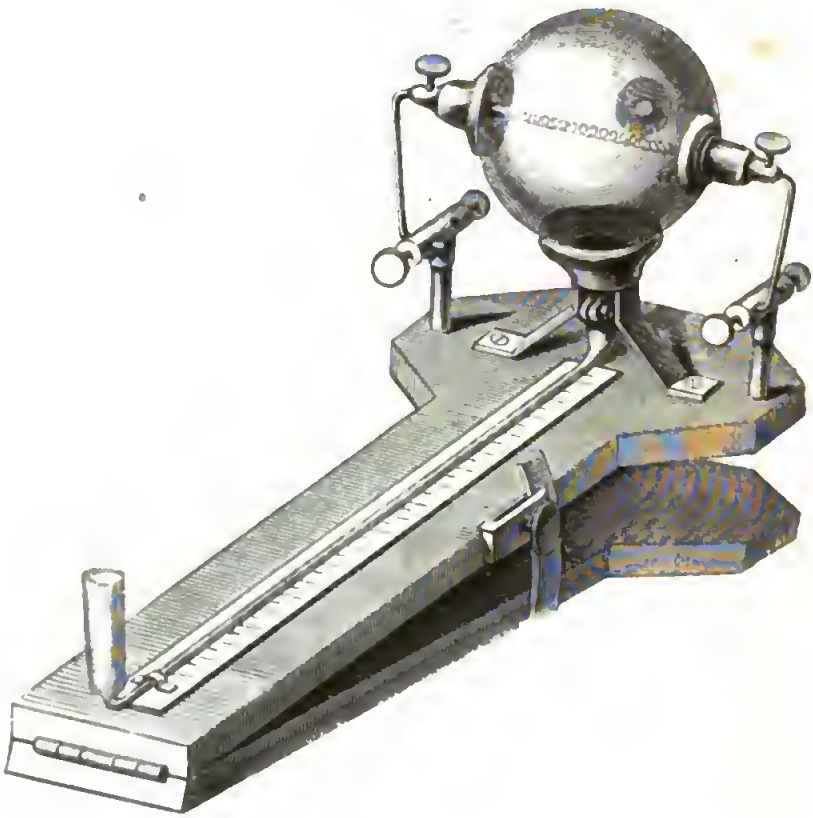
Fig. 52.



Rieß giebt eine Beſchreibung ſeines Lufthermometers an mehreren Stellen ſeiner Abhandlungen und in Dove's Repertorium. Nirgends aber iſt die Beſchreibung ganz klar und hinlänglich durch Figuren erläutert. Es wäre in der That zu wünſchen, daß die Autoren beſſere Zeichnungen ihrer Apparate gäben, wodurch ſeitenlange und doch ungenügende Beſchreibungen, die ohne Noth des Leſers Zeit rauben, vermieden würden.

Fig. 53 ſtellt das Inſtrument in $^1/_4$ der natürlichen Größe dar. Die Kugel, welche ungefähr 3 Zoll Durchmeſſer hat, iſt an drei Stellen durch-

Fig. 53.



bohrt. Die Oeffnungen bei *a* und *b* ſtehen einander diametral gegenüber, und ſind mit durchbohrten Metallfaſſungen verſehen, zwiſchen welchen der Platindraht ausgeſpannt wird; die dritte Oeffnung *c* iſt ebenfalls mit einer Metallfaſſung verſehen, deren Oeffnung durch einen Stöpſel verſchloſſen iſt, ſo daß man vor dem Verſuche die Luft im Innern der Kugel mit dem Aeußern ins Gleichgewicht ſetzen kann.

Wie der Draht ausgeſpannt wird, kann man Fig. 54 und Fig. 55 ſe-

hen. Fig. 54 ſtellt einen Durchſchnitt der Kugel in ½ der natürlichen Größe dar, welche durch die Mitte der beiden Oeffnungen bei *a* und *b*

Fig. 54.

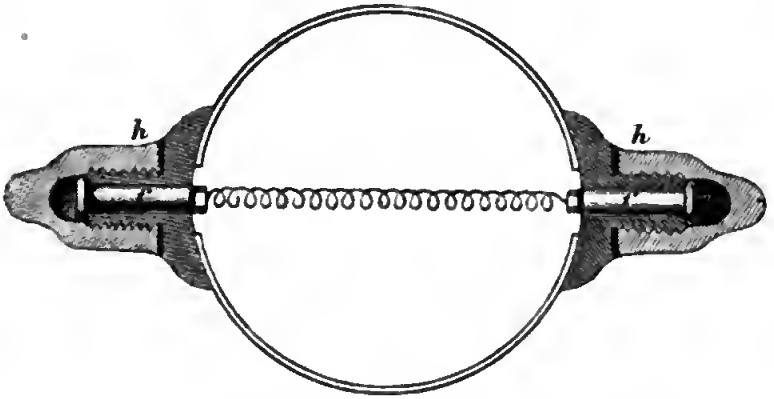
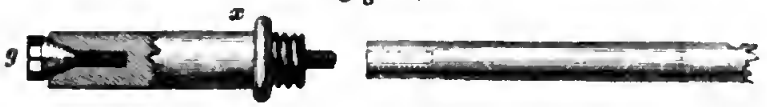


Fig. 55.



geht. Die hier aufgekitteten Faſſungen haben eine ungefähr 2‴ weite Oeffnung, in welche der Cylinder *f* hineinpaßt. Dieſer Cylinder hat auf der nach dem Innern der Kugel gerichteten Seite eine koniſche Vertiefung, in welche ein eingeſchlitzter Metallkegel *g* eingeſchraubt wird, wie man dies Fig. 55 deutlicher ſieht. In den Schlitz iſt der Platindraht eingeſteckt, welcher durch tieferes Einſchrauben des Kegels feſtgeklemmt wird. Dieſe Vorrichtung nennt Rieß die Kegelklemmen.

Will man den Draht herausnehmen, um einen andern einzuziehen, ſo verfährt man folgendermaaßen. Zunächſt werden die Hülſen *h* abgeſchraubt. Der Cylinder *f* der einen Seite iſt nach Außen hin durch eine Schraube verlängert, an welche ſich eine zweite von noch engerem Durchmeſſer anſetzt. Auf dieſe letztere wird nun, wie aus Fig. 55 deutlich wird, ein Stäbchen aufgeſchraubt, deſſen Länge größer iſt, als der Durchmeſſer der Kugel ſammt den angekitteten Metallfaſſungen; iſt dies geſchehen, ſo kann man die Metallplatte *x*, welche es verhindert, daß der Cylinder *f* in die Kugel hineingezogen wird, losſchrauben und auf das Stäbchen ſchieben. Man kann nun leicht, den Cylinder *f* auf der linken Seite der Kugel herausziehend und das angeſchraubte Stäbchen von der andern Seite nachſchiebend, den Draht herausnehmen und nach Belieben einen andern zwiſchen die Kegelklemmen einſetzen. Um ihn wieder einzuziehen, ſteckt man zuerſt das Stäbchen durch die Kugel, zieht mit Hülfe deſſelben denjenigen

Cylinder *f*, an welchem es angeſchraubt iſt, durch dieſelbe durch, ſchraubt die Platte *x* auf und entfernt das Stäbchen. Nun können auch die Hülſen *h* wieder aufgeſchraubt werden.

Die von Kleiner verfertigten elektriſchen Luftthermometer ſind ſehr ſchön und gut gearbeitet, aber der Preis derſelben (25 Thaler und 2 Thaler Verpackungskoſten) iſt hoch. Es wäre deshalb ſehr zu wünſchen, daß dem Inſtrumente eine einfachere Conſtruction gegeben würde, welche es weniger koſtſpielig machte.

Die Neigung der Röhre des Luftthermometers kann, wie man Fig. 53 ſieht, beliebig verändert und dadurch die Empfindlichkeit des Inſtrumentes nach Belieben erhöht werden. Rieß wandte in der Regel eine Neigung von $6^1/_2$ gegen die Horizontale an.

Die Scala an der Röhre iſt in Linien getheilt. Alles Weitere iſt aus der Figur deutlich.

Der Inhalt der Kugel des Inſtrumentes, welches Rieß gebrauchte, war 40766 Kubik-Linien. Die Weite der Röhre war von der Art, daß wenn man den Röhreninhalt zwiſchen zwei Theilſtrichen als Raumeinheit nimmt, die Kugel 320307 ſolcher Raumeinheiten enthält.

43 **Theorie des Inſtrumentes.** Wenn die Luft in der Kugel erwärmt wird, ſo wird die Flüſſigkeitsſäule deprimirt; dadurch wird einestheils die Spannkraft der Luft, anderentheils das Volumen derſelben vermehrt.

Nun iſt aber die Vermehrung der Spannkraft ſowohl, als auch die Volumenvergrößerung der Temperaturerhöhung proportional, folglich auch die Summe beider Wirkungen; d. h. die Depreſſion iſt der Temperaturerhöhung proportional.

Wir wollen nun zunächſt berechnen, wie groß die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel iſt, welche eine Depreſſion von 1‴ bewirkt.

Nehmen wir an, die Temperatur der Luft ſey 15° C., der Barometerſtand ſey 336‴.

Die Flüſſigkeit in der Röhre war 15mal leichter als Queckſilber; ein Barometer von dieſer Flüſſigkeit würde alſo eine Höhe von $15 \times 336 = 5040‴$ haben.

Unſere Röhre ſteht aber nicht vertikal, ſie iſt 6,5° gegen den Horizont geneigt. Die Flüſſigkeitsſäule in einer ſo geneigten Röhre müßte alſo eine Länge von $\frac{5040}{sin.\ 6{,}5^0} = \frac{5040}{0{,}113} = 44600‴$ haben, um den Luftdruck das Gleichgewicht zu halten, wir können alſo die 44600‴ als das Maaß der Spannkraft der Luft in der Kugel betrachten.

Wird nun die 15° warme Luft um 1° erwärmt, ſo dehnt ſie ſich aus im Verhältniß von

$$(1 + 15 \,.\, 0{,}00365) \text{ zu } (1 + 16 \,.\, 0{,}00365)$$
$$1{,}05475 : 1{,}05840$$
$$1 : 1{,}00346$$

die Luft von 15° dehnt ſich alſo bei einer Temperaturerhöhung von 1° um 0,00346 ihres Volumens von 15° aus.

Wenn ſich aber die Luft nicht ausdehnen kann, ſo wird ihre Spannung in demſelben Verhältniß zunehmen, daraus ergiebt ſich

$$1 : 1{,}00346 = 44600''' : 44754.$$

Eine Temperaturerhöhung von 1° bringt alſo eine Depreſſion von 154 Linien in der Röhre hervor, angenommen, daß dabei keine Volumenvergrößerung ſtattgefunden hätte, eine Depreſſion von 1''' entſpricht demnach einer Temperaturerhöhung von $\frac{1}{154} = 0{,}00649°$, wenn nur die Vermehrung der Spannkraft in Betracht gezogen wird.

Der Inhalt der Kugel beträgt 320307 Einheiten der Röhrentheilung. Eine Temperaturerhöhung von 15 auf 16° würde die Luft in der Kugel, wie leicht zu berechnen, um 1108 ſolcher Einheiten ausdehnen, wenn ſich die Luft frei ausdehnen könnte, eine Volumenvermehrung von 1''' in der Röhre entſpricht alſo einer Temperaturerhöhung von $\frac{1}{1108} = 0{,}0009°$.

Eine Depreſſion von 1''' entſpricht alſo, wenn man die Vermehrung der Spannung und des Volumens berückſichtigt, einer Temperaturerhöhung von

$$0{,}00649 + 0{,}0009 = 0{,}0074°.$$

Von der Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel kann man auf die Temperaturerhöhung des Drahtes ſchließen. Es ſey t die Temperatur der Luft und des Drahtes vor der Entladung, T die Temperatur, auf welche der Draht durch den Entladungsſchlag ſteigt; t' die Temperaturerhöhung, welche der Draht durch Abgabe ſeines Wärmeüberſchuſſes an der Luft abgiebt, ſo iſt

$$M\,C\,(T - t') = m\,c\,(t' - t),$$

wenn M die Maſſe und C die ſpecifiſche Wärme des Platindrahtes, m die Maſſe und c die ſpecifiſche Wärme der Luft in der Kugel bezeichnen. Daraus ergiebt ſich

$$T - t' = (t' - t)\,\frac{m\,c + M\,C}{M\,C}$$

oder

$$T' = (t' - t)\left(1 + \frac{m\,c}{M\,C}\right) = 0{,}0074\;h\left(1 + \frac{m\,c}{M\,C}\right)$$

wenn man mit T' die Temperaturerhöhung des Drahtes bezeichnete. $t' - t$ iſt die Temperaturerhöhung der Luft, welche ſich nach dem obigen leicht aus der beobachteten Depreſſion berechnen läßt.

Der Inhalt der Kugel iſt 40766 Kubiklinien; das ſpecifiſche Gewicht der Luft bei 15° iſt 0,00114, die ſpecifiſche Wärme der Luft 0,188, wir haben demnach

$$T' = (0{,}0074 \,.\, h)\left(1 + \frac{40766 \,.\, 0{,}00114 \,.\, 0{,}188}{3{,}14 \,.\, l \,.\, r^2 \,.\, 21 \,.\, 0{,}031}\right),$$

wenn r den Halbmeſſer, l die Länge des Drahtes in der Kugel bezeichnet. 21 iſt das ſpecifiſche Gewicht, 0,0031 die ſpecifiſche Wärme des Platins.

Führt man die angedeuteten Multiplicationen aus, ſo kommt

$$T' = (0{,}0074\ h)\left(1 + \frac{8{,}737}{2{,}044 \,.\, l\, r^2}\right).$$

Nach dieſer Formel kann man jederzeit die Temperaturerhöhung T' des Drahtes berechnen, wenn die entſprechende Depreſſion h beobachtet, und die Dimenſionen des Platindrahtes bekannt ſind.

Für einen Draht, für welchen $r = 0{,}036'''$
$l = 59{,}7'''$
ergab ſich folgende Verſuchsreihe:

s	3	4	5
q	h	h	h
4	5,3	4,0	
5	7,1	6,0	5
6	10,2	8,2	6,8
7	12,8	10,7	8,4
8			11,0

Berechnet man für alle zuſammengehörige Werthe von s, h und q den Werth von n in der Gleichung

$$h = n \,.\, \frac{q^2}{s},$$

ſo erhält man als Mittelwerth für n den Werth 0,91. Für den Fall, daß $\frac{q^2}{s} = 1$, wäre $h = 0{,}91$, die entſprechende Temperaturerhöhung alſo $0{,}91 \,.\, 0{,}0074 = 0{,}006734$, die Temperaturerhöhung des Drahtes alſo

$$T' = 0{,}006734\ (1 + 55{,}24)$$
$$T' = 0{,}3787$$

Rieß hat für dieſen Fall aus ſeinen Formeln, die auf weniger elementarem Wege entwickelt ſind, bei einer Temperatur von 12,5° $T' = 0{,}3975$ erhalten, was unſerem Werthe faſt gleich iſt.

Der Quotient $\frac{mc}{MC}$ wird um ſo größer, je dünner und kürzer der

Drabt, je kleiner alſo M wird. In den meiſten Fällen, welche bei ſolchen Verſuchen vorkommen, iſt wie in obigem ſpeciellen Fall M doch ſo klein, daß der Bruch $\frac{mc}{MC}$ bedeutend größer iſt als 1.

Wir haben bei dieſen Betrachtungen eine Temperatur von 15° angenommen. Wäre die Temperatur der Luft nicht 15° geweſen, ſondern 0°, ſo wäre die Luft im Verhältniß von 1 zu 1,0547 dichter, alſo m in demſelben Verhältniß größer geworden.

Von einer Lufttemperatur von 15° ausgehend, hatten wir oben gefunden, daß eine Depreſſion von 1‴ einer Temperaturerhöhung von 0,0074° entſpricht. Hätten wir eine Temperatur von 0° zum Ausgangspunkte genommen, ſo hätten wir gefunden, daß eine Depreſſion von 1‴ einer Temperaturerhöhung von 0,0070° entſpricht.

Wären alſo die Verſuche bei 0° angeſtellt worden, ſo wäre eine Gleichung ſtatt des Factors 0,0074 der Factor 0,0070, alſo ein Factor zu ſetzen, welcher im Verhältniß von 1,0571 kleiner iſt; dagegen wäre m alſo der Werth des Ausdrucks in der Klammer (da ja 1 gegen $\frac{mc}{MC}$ ſehr klein iſt) im Verhältniß von 1 : 1,0547 größer geworden. Der eine Factor wäre alſo faſt genau in demſelben Verhältniß größer geworden, in welchem der andere abgenommen hat, der Werth von T' würde alſo faſt ganz unverändert geblieben ſeyn, woraus hervorgeht, daß kleinere Schwankungen in der Temperatur der umgebenden Luft ganz unberückſichtigt bleiben können, daß ſie alſo keine Correction des für 15° Lufttemperatur berechneten Werthes von T' nothwendig machen.

Zu demſelben Reſultat führt eine ähnliche Betrachtung auch in Beziehungen auf den Barometerſtand, d. h. obgleich unſere Formel für einen Barometerſtand von 336 Linien berechnet iſt, ſo kann dieſe Formel doch auch für andere Barometerſtände benutzt werden, weil die mittleren Schwankungen des Barometers keinen merklichen Einfluß auf den Werth von T' haben.

Einfluß der Länge des Schließungsbogens auf die Erwärmung in demſelben. 44 Wir haben oben geſehen, daß wenn derſelbe Entladungsſchlag, durch mehrere hinter einander in den Schließungsbogen eingeſchaltete Drähte geht, daß alsdann die Erwärmung der einzelnen Drahtſtücke von ihrer Länge unabhängig der 4ten Potenz ihrer Halbmeſſer umgekehrt proportional iſt.

Sobald jedoch der Schließungsbogen durch Einſchaltung neuer Drähte eine namhafte Verlängerung erfährt, ſo wird dadurch die Erwärmung in allen Theilen des Schließungsbogens vermindert.

Um den Einfluß der Verlängerung des Schließungsbogens zu unterſu-

chen, ſchaltete Rieß mittelſt des Henley'ſchen Ausladers der Reihe nach verſchieden lange Stücke deſſelben Kupferdrahtes in den Schließungsbogen ein, während im Thermometer ſtets derſelbe Platindraht blieb. Mit jeder Einſchaltung wurde nun eine Verſuchsreihe in der Art gemacht, wie die auf Seite 103 angeführte. Wir wollen die Länge des eingeſchalteten Kupferdrahtes (welcher 0,29‴ dick war) mit λ bezeichnen.

für $\lambda = 0$ ergab ſich $h = 0{,}78\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda = 9{,}6'$ „ „ $h = 0{,}69\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda = 49{,}0$ „ „ $h = 0{,}48\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda = 98{,}4$ „ „ $h = 0{,}34\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda = 147{,}7$ „ „ $h = 0{,}27\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda = 246{,}4$ „ „ $h = 0{,}21\frac{q^2}{s}$.

Wir ſehen aus dieſer Zuſammenſtellung, daß die Erwärmung mit zunehmender Länge des Einſchaltungsdrahtes, für gleiche Werthe von $\frac{q^2}{s}$ fortwährend abnimmt.

Die Werthe von h ſind offenbar den Factoren von $\frac{q^2}{s}$ proportional. Für $\frac{q^2}{s} = 1$ beſteht zwiſchen h und λ folgende Beziehung

$$h = \frac{0{,}78}{1 + 0{,}013\ \lambda} \quad \ldots . 1)$$

Für $\lambda = 0$ giebt dieſe Gleichung $h = 0{,}78$; für $\lambda = 49$ giebt ſie $h = 0{,}476$; für $\lambda = 147{,}7$ giebt ſie 0,267 u. ſ. w., alſo lauter Werthe, die mit den oben mitgetheilten Beobachtungsreſultaten ſehr gut ſtimmen, ſo daß wir dieſe Gleichung wirklich für den Ausdruck der Beziehung zwiſchen h und λ nehmen können.

Dividiren wir Zähler und Nenner dieſer Gleichung mit 0,013, ſo kommt

$$h = \frac{59{,}98}{76{,}9 + \lambda}.$$

In dieſer Form finden wir die größte Aehnlichkeit mit dem Ohm'ſchen Geſetz. Der Entladungsſchlag hatte bei dieſen Verſuchen, außer der veränderlichen Länge λ des eingeſchalteten Kupferdrahtes, noch den übrigen

unveränderlichen Theil des Schließungsbogens, in welchem auch der Platindraht des Thermometers enthalten war zu durchlaufen.

Jede Verlängerung des Schließungsbogens wirkt vermindernd auf die Temperaturerhöhung, und zwar iſt die Temperaturerhöhung umgekehrt der Länge des Schließungsbogens proportional, wie ſich aus jener Formel ergiebt, wenn wir annehmen daß der unveränderliche Theil des Schließungsbogens eben ſo wirkt, wie ein 76,9′ langes Stück Kupferdraht von der Dicke des Einſchaltungsdrahtes.

Der obige Werth von h entſpricht nur einem ſpeciellen Fall; wir können allgemein ſetzen

$$h = \frac{\frac{a}{b}}{\frac{1}{b} + \lambda} \frac{q^2}{s} = \frac{a'}{L + \lambda},$$

wenn a' für $\frac{a}{b}$ und L für $\frac{1}{b}$ geſetzt wird. Für die Wärmeentwicklung gilt alſo hier daſſelbe Geſetz wie für die magnetiſche Wirkung der galvaniſchen Kette.

L drückt hier offenbar die reducirte Länge des Schließungsbogens aus, d. h. es giebt an, wie lang ein Platindraht ſeyn müßte, welcher bei gleicher Dicke mit dem eingeſchalteten, deſſen Länge λ iſt, denſelben Verzögerungswerth giebt, wie der geſammte Schließungsbogen, mit Ausnahme des im Auslader befindlichen Platindrahtes, deſſen Länge λ iſt.

Dieſe letztere Umwandlung, wodurch das Rieß'ſche Erwärmungsgeſetz eine dem Ohm'ſchen Geſetze ganz gleiche Form erhält, hat Rieß mit ſeiner Formel nicht vorgenommen. Nur im Eingang ſeiner Abhandlung hat er im Allgemeinen darauf aufmerkſam gemacht, daß eine Uebereinſtimmung ſeiner Reſultate mit den magnetiſchen Wirkungen der galvaniſchen Kette nicht zu überſehen ſey, ohne ſie jedoch weiter hervorzuheben und nachzuweiſen, ja er hat in ſeiner Darſtellung, wie er ſelbſt ſagt, abſichtlich Bezeichnungen vermieden, welche an den Galvanismus erinnern könnten, weil die Elektricitätslehre nicht an theoretiſchen Betrachtungen und Analogien, wohl aber an ſicher begründeten Verſuchen Mangel hat.

Die Gleichung 1 auf allgemeine Form gebracht, heißt

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda}$$

woran Rieß folgende Betrachtung anſchließt.

Durch Verlängerung des Schließungsbogens wird die Erwärmung vermindert. Schaltet man aber nun ſtatt eines Metalldrahtes ein Stück feuchten Holzes, oder eine mit Waſſer gefüllte Glasröhre als Zwiſchenleitung ein, ſo ſind die ſtärkſten Ladungen der Batterie nicht mehr im

Stande, auch nur eine Senkung von 0,1‴ zu bewirken. Hier aber iſt die Entladung der Batterie nicht mehr momentan, wie bei der Einſchaltung auch des längſten Kupferdrahtes, ſie erfordert eine wahrnehmbare Zeit. Daraus läßt ſich ſchließen, daß wir auch einen Unterſchied in der Entladungszeit beobachten würden, je nachdem ein kurzer oder ein langer Kupferdraht eingeſchaltet iſt, wenn wir mit ſchärferen Sinnen begabt wären. Die Erwärmung des Platindrahtes im Thermometer ſcheint mit der Zeit, welche die Entladung dauert, im einfachen umgekehrten Verhältniß zu ſtehen. Iſt eine Erwärmung a beobachtet worden, indem eine gewiſſe Elektricitätsmenge von gewiſſer Dichtigkeit in der Zeit 1 entladen wurde, ſo wird die Entladungszeit um $b\lambda$ vergrößert, wenn ein Draht von der Länge λ eingeſchaltet wird, und die Erwärmung iſt nun

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda}$$

oder die Erwärmung eines Drahtes durch die Entladung der elektriſchen Batterie iſt der Dauer der Entladung umgekehrt proportional; die Dauer der Entladung wird durch Verlängerung des Schließungsdrahtes um eine Zeit verzögert, welche der zugeſetzten Drahtlänge proportional iſt.

45 **Einfluß der Dicke des Schließungsbogens auf die Erwärmung in demſelben.** Um den Einfluß der Dicke des Schließungsbogens auf die Erwärmung zu unterſuchen, ließ Rieß den eingeſchalteten Kupferdraht fort, welchen er bei den vorigen Verſuchen angewandt hatte, und brachte ſtatt deſſelben ſucceſſiv Platindrähte von verſchiedenen Dimenſionen zwiſchen den Armen des Henley'ſchen Ausladers an. Es ergab ſich nun, daß die Erwärmung im Thermometer deſto geringer ausfiel, je dünner bei gleicher Länge der eingeſchaltete Platindraht war. Die auf dieſe Weiſe erhaltenen Reſultate paſſen in die Formel

$$T = \frac{a}{1 + \frac{b\lambda}{\varrho^2}} \frac{q^2}{s},$$

in welcher ϱ den Halbmeſſer des Drahtes bezeichnet. Dies heißt in Worten ausgedrückt:

Die Erwärmung eines Drahtes durch elektriſche Entladung iſt der Dauer dieſer Entladung umgekehrt proportional; durch Einſchaltung von homogenen Drähten wird die Entladung um eine Zeit verzögert, welche der Länge des eingeſchalteten Drahtes direct, ſeinem Querſchnitte umgekehrt proportional iſt.

46 **Erwärmung im Stamme eines verzweigten Schließungsdrahtes.** Hat man ermittelt, welche Verzögerung der Entladung ein in

den Schließungsbogen der Batterie eingeſchalteten Draht α hervorbringt, hat man auf gleiche Weiſe den Verzögerungswerth eines zweiten Drahtes β ermittelt, ſo kann nun gefragt werden, welches die Verzögerung ſey, welche beide Drähte gleichzeitig nebeneinander als Zweige in den Schließungsbogen eingeſchaltet, hervorbringen.

Die beiſtehenden ſchematiſchen Figuren mögen dazu dienen, deutlicher zu machen, wie dieſe Frage zu verſtehen ſey.

In Fig. 56 ſtelle b die Batterie, t das Luftthermometer, α ein in den Schließungsbogen eingeſchaltetes Drahtſtück dar.

Fig. 56.

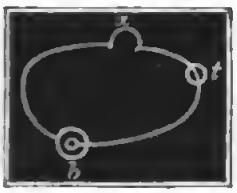
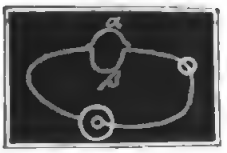


Fig. 57.

Fig. 58.



In den beiden folgenden Figuren bezeichnen b und t dieſelben Dinge, in Fig. 57 iſt aber ſtatt α der Draht β, und in Fig. 58 ſind beide Drahtſtücken neben einander ſo eingeſchaltet, daß ſie eine Verzweigung bilden.

Wenn man nun für eine beſtimmte Ladung der Batterie die Erwärmung des Luftthermometers bei den Combinationen, Fig. 56 und Fig. 57 kommt, ſo fragt ſich, welches iſt für dieſelbe Ladung die Erwärmung des Luftthermometers bei der Combination Fig. 58.

Rieß hat dieſe Frage im 63ſten Bande, Seite 486 von Poggendorff's Annalen behandelt.

Wie wir ſoeben geſehen haben, läßt ſich die Erwärmung des Luftthermometers für die Einheit der Ladung durch die Formel

$$h = \frac{a}{1 + z}$$

darſtellen, wenn a die Erwärmung anzeigt, welche ſtattfindet, wenn nur die unveränderlich im Schließungsbogen bleibenden Stücke die Batterie ſchließen, z aber die Zeit bedeutet, um welche die Entladung verzögert wird, wenn noch irgend ein Drahtſtück in den Schließungsbogen eingeſchaltet wird, vorausgeſetzt, daß man die Zeit zur Einheit nimmt, in welcher die Batterie entladen wird, wenn das fragliche Drahtſtück aus dem Schließungsbogen bleibt.

Hat man durch Verſuche den Verzögerungswerth z für einen, in den Schließungsbogen eingeſchalteten Draht α in derſelben Weiſe, alsdann den Verzögerungswerth z' für einen zweiten Draht β ermittelt, ſo kann man durch theoretiſche Betrachtungen ableiten, welches der Verzögerungswerth

für beide, auf die in Fig. 58 angedeutete Weiſe, nebeneinander eingeſchaltete Draht ſey.

Der eine Draht α entladet die Einheit der Elektricitätsmenge in der Zeit z; in der Zeiteinheit iſt er alſo im Stande, die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z}$ zu entladen.

Eben ſo ergiebt ſich, daß der zweite Draht β in der Zeiteinheit die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z'}$ entladen kann.

In der Zeiteinheit entladen alſo beide Drähte α und β nebeneinander (Fig. 58), in den Schließungsbogen eingeſchaltet, die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}$.

Daraus ergiebt ſich nun leicht, daß bei der Combination Fig. 58 die beiden Drähte die Elektricitätsmenge 1 in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladen.

Wenn alſo

$$h = \frac{a}{1 + z} \frac{q^2}{s}$$

die Erwärmung des Luftthermometers iſt, wenn ſich der Draht α im Schließungsbogen befindet; wenn ferner

$$h' = \frac{a}{1 + z'} \frac{q^2}{s}$$

für dieſelbe Ladung die Erwärmung des Luftthermometers iſt, wenn der Draht β in den Schließungsbogen eingeſchaltet iſt, ſo iſt

$$h'' = \frac{a}{1 + \frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}} \frac{q^2}{s}$$

die Erwärmung, wenn die Drähte α und β gleichzeitig in der Fig. 58 angedeuteten Weiſe eine Verzweigung bildend, eingeſchaltet ſind.

Nach derſelben Schlußweiſe ergiebt ſich auch, daß wenn die Verzögerungswerthe dreier Drähte z, z' und z'' ſind, daß alsdann, wenn dieſe drei Drähte neben einander in den Schließungsbogen eingeſchaltet worden, $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'} + \frac{1}{z''}}$, der Verzögerungswerth der ganzen Verzweigung iſt.

Die Richtigkeit dieſer Schlußfolgerungen hat Rieß durch zahlreiche Verſuche bewieſen, von denen ich hier einige anführe.

Die Batterie, die zu allen diesen Versuchen angewandt wurde, bestand aus 4 Flaschen von 2,6 Quadratfuß innerer Belegung. Es wurde nun zwischen die constanten Theile des Schließungsbogens der Reihe nach verschieden lange Stücke von stets gleich dickem Platindraht eingeschaltet, durch jeden Draht verschiedene Elektricitätsmengen entladen, und so ergab sich aus der Combination dieser Versuche für das a der obigen Gleichung der Werth 1,232. Auf welche Weise a aus der Combination mehrerer solcher Versuche bestimmt werden kann, ergiebt sich aus den Entwickelungen auf Seite 104.

Es wurde nun ein Platindraht α eingeschaltet (es ist hier nicht nöthig, seine Dimensionen weiter zu kennen) und verschiedene Elektricitätsmengen entladen, aus welchen Versuchen sich für die Einheit der Ladung $h = 0{,}81$ ergab, es ist also

$$0{,}81 = \frac{1{,}232}{1 + z}$$

und daraus $z = 0{,}5209$ und $\frac{1}{z} = 1{,}919$; statt α wurde der Platindraht β eingeschaltet, und es ergab sich für die Einheit der Ladung $h = 0{,}94$, mithin $z' = 0{,}3107$ und $\frac{1}{z'} = 3{,}219$.

Sind die Drähte α und β gleichzeitig als zwei Zweige in den Schließungsbogen eingeschaltet, so muß nach unserer Betrachtung die Erwärmung des in den Stamm des Schließungsbogens eigeschalteten Thermometers seyn

$$h = \frac{1{,}231}{1 + \frac{1}{1{,}919 + 3{,}219}} = \frac{1{,}231}{1 + \frac{1}{5{,}138}} = 1{,}031$$

Der Versuch gab $h = 1{,}03$.

Bei der Schließung durch einen Zweig α' ergab sich

$$h = 0{,}386 \text{ also } \frac{1}{z} = 0{,}4563.$$

Bei der Schließung durch einen Zweig β'

$$h = 0{,}519 \text{ also } \frac{1}{z'} = 0{,}7279.$$

Bei der Schließung durch einen Zweig γ' (Eisendraht)

$$h = 0{,}449 \text{ also } \frac{1}{z''} = 0{,}5734$$

es ist demnach

$$\frac{1}{z} + \frac{1}{z} + \frac{1}{z''} = 1{,}758,$$

es ergiebt ſich alſo, wenn der Bogen durch die drei Zweige gleichzeitig geſchloſſen wird, für die Einheit der Ladung als Erwärmung des Thermometers

$$h = \frac{1{,}232}{1 + \frac{1}{1{,}758}} = 0{,}7851.$$

Die Verſuche gaben für dieſe Combination

$$h = 0{,}784.$$

Weitere Verſuchsreihen gaben eine gleiche Uebereinſtimmung der berechneten und beobachteten Werthe.

47 **Erwärmung in einem Zweige des Schließungsbogens.** Wir haben geſehen, daß durch zwei Zweige des Schließungsbogens die Elektricitätsmenge q in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladen wird, wenn z und z' die Zeit bezeichnet, in welcher jeder der beiden Zweige für ſich allein dieſelbe Elektricitätsmenge zu entladen im Stande iſt. In der Zeiteinheit kann der erſte Zweig die Elektricitätsmenge $\frac{q}{z}$ entladen, folglich iſt die Elektricitätsmenge, welche den erſten Zweig in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladet, gleich $\frac{q}{z\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)}$; eben ſo entladet der zweite Zweig in derſelben Zeit die Elektricitätsmenge $\frac{q}{z'\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)}$.

Demnach iſt die Erwärmung im erſten Zweig

$$h_a = \frac{a}{1 + \frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}} \cdot \frac{q^2}{s \cdot z^2 \left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)^2}$$

$$= \frac{a}{\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)\left(1 + \frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right) z^2} \cdot \frac{q^2}{s}.$$

Rieß fand auch dieſe Formel durch ſeine Verſuche beſtätigt.

Um in die Zweige ein Luftthermometer einſchalten zu können, ohne ſonſt etwas am Schließungsbogen zu ändern, befanden ſich in den Zweigen Platindrähte mit denſelben Verbindungsſtücken, und von gleicher Länge und Dicke wie der Platindraht im Thermometer, ſo daß man dieſe Draht-

ſtücke aus dem Zweige wegnehmen, und ſtatt deſſen den Thermometer einſchalten konnte; die Stelle im Stamm, wo vorher der Thermometer ſich befand, wurde dann durch eine gleichwerthige Drahtverbindung ausgefüllt.

Bei allen dieſen Verſuchen waren die Zweige nur ſehr kurz, und nur für dieſen Fall finden obige Formeln eine Anwendung. Wenn die Zweige länger ſind, ſo kann jeder in dem andern einen gleichgerichteten Nebenſtrom induciren. Wenn nun aber der Hauptſtrom in α einen Nebenſtrom in β inducirt, ſo iſt α gleichſam die Schließung des Nebendrahts β, der in β erregte Nebenſtrom wird alſo α in einer Richtung durchlaufen, welche der Richtung des Hauptſtromes entgegengeſetzt iſt; dazu kommt noch der durch β in α erregte Nebenſtrom. Durch dieſe Nebenſtröme kann aber die Wirkung des Hauptſtromes nicht allein in den Zweigen, ſondern auch im Stamme modificirt werden. Dieſe ſehr complicirten Störungen des Entladungsſtromes in einem verzweigten Drahte mögten aber wohl, wie Rieß richtig bemerkt, ſchwerlich unter ein allgemein gültiges Geſetz zu bringen ſeyn.

Elektriſche Verzögerungskraft der Metalle. An die eben beſpro- 48
chenen Unterſuchungen ſchließt ſich eine höchſt intereſſante und wichtige Arbeit von Rieß über die elektriſche Verzögerungskraft der Metalle an.

Wir haben geſehen, daß ein Draht mittelſt des Henley'ſchen Ausladers in den Schließungsbogen gebracht, die Entladung verzögert und daß in Folge dieſer Verzögerung die Depreſſion im Luftthermometer abnimmt.

Es bleibe nun der Draht im Thermometer unverändert derſelbe, man ſchalte aber einmal einen Platindraht, dann einen Kupferdraht von gleicher Länge und Dicke in den Schließungsbogen ein, ſo wird man keine gleiche Depreſſion erhalten, woraus hervorgeht, daß dieſe Drähte, obgleich ſie gleiche Dimenſionen haben, die elektriſche Entladung doch nicht in gleichem Maaße verzögern, daß alſo die Verzögerungskraft der beiden Metalle ſpecifiſch verſchieden iſt.

Bei gleicher Länge und Dicke wird man bei dem eingeſchalteten Kupferdraht eine größere Depreſſion erhalten, als für den Platindraht, der Kupferdraht verzögert alſo die elektriſche Entladung weniger als der Platindraht.

Für die Betrachtung und Rechnung wäre nun Folgendes die einfachſte Methode, die Verzögerungskraft verſchiedener Metalle zu vergleichen. Man ſpanne zunächſt einen Platindraht in den Henley'ſchen Auslader und ermittle die Depreſſion, welche eine beſtimmte Ladung der Batterie hervorbringt. Nun ſpanne man den andern Draht ſtatt des Platindrahtes ein (der jedoch mit dem Platindraht gleiche Dicke haben muß) und verlängere oder verkürze ihn ſo lange, bis dieſelbe Ladung der Batterie

denſelben Effect hervorbringt, wie bei dem zuvor angewandten Kupferdraht; die verzögernden Kräfte verhalten ſich dann umgekehrt wie die eingeſchalteten Drahtlängen.

Ein Kupferdraht müßte z. B. bei gleicher Dicke 6,44mal ſo lang ſeyn, wie ein Platindraht, um gleiche Verzögerung zu bewirken; die verzögernde Kraft des Platins iſt alſo 6,44mal ſo groß wie die des Kupfers. Setzen wir die verzögernde Kraft des Platins gleich 1, ſo iſt demnach die verzögernde Kraft des Kupfers 0,1552.

Dies wäre, wie geſagt, für die Betrachtung und Rechnung die einfachſte Methode. Die Ausführung dieſer Verſuche würde aber ſehr mühſam ſeyn. Rieß hat es deswegen vorgezogen, die Verſuche mit Drahtſtücken von beſtimmter Länge und Dicke anzuſtellen, die entſprechenden Depreſſionen zu beobachten und daraus dann die Verzögerungskraft mit Hülfe der oben gefundenen Geſetze zu berechnen.

Bei den folgenden Verſuchen war im Thermometer ſtets ein und derſelbe Platindraht ausgeſpannt (ſeine Länge war 59,25‴, ſein Halbmeſſer 0,04098‴). Es wurde nun ein Platindraht von derſelben Dicke, aber 34,67‴ Länge in den Auslader gebracht. Eine nach der oben näher beſchriebenen Methode angeſtellte Verſuchsreihe, bei welcher q und s variirt und ſtets die entſprechende Depreſſion beobachtet wurde, gab als Reſultat

$$h = 1{,}37\,\frac{q^2}{s},$$

ein gleich dicker Platindraht von 87,62‴ Länge gab

$$h = 1{,}01\,\frac{q^2}{s},$$

ein dritter gleich dicker 143,5‴ langer Platindraht gab

$$h = 0{,}79\,\frac{q^2}{s}.$$

Der Factor von $\frac{q^2}{s}$ hat, wie wir oben (S. 122) geſehen haben, die Form

$$\frac{a}{1 + b\lambda},$$

um die Conſtanten a und b zu beſtimmen, ſind zwei Beobachtungsreihen nöthig, d. h. man muß zwei numeriſche Werthe dieſes Factors kennen, welche zwei verſchiedenen Längen von λ entſprechen.

Wir haben einmal

$$\frac{a}{1 + b\ 34{,}67} = 1{,}37,$$

dann

$$\frac{a}{1 + b\ .\ 87{,}62} = 1{,}01,$$

aus der Combination dieſer beiden Gleichungen folgt

$$a = 1{,}787, \qquad b = 0{,}00878.$$

Combinirt man auf dieſelbe Weiſe die erſte und dritte Beobachtungsreihe, ſo kommt

$$a = 1{,}788, \qquad b = 0{,}008807,$$

die Combination der zweiten und dritten Beobachtungsreihe giebt

$$a = 1{,}792, \qquad b = 0{,}008843.$$

Das Mittel aus dieſen drei Beſtimmungen iſt

$$a = 1{,}789, \qquad b = 0{,}008810.$$

Um die Verzögerungskraft des Kupfers zu beſtimmen, wurde nun ein Kupferdraht in dem Henley'ſchen Auslader eingezogen. Seine Länge war 141,6‴; ſein Radius 0,041952‴. Nehmen wir die Dicke des vorher unterſuchten Platindrahtes zur Einheit, ſo ergiebt ſich für den Kupferdraht der Werth des Halbmeſſers

$$\varrho = 1{,}0236.$$

Aus einer mit dieſem Kupferdraht angeſtellten Verſuchsreihe ergab ſich

$$h = 1{,}51\,\frac{q^2}{s}.$$

Nach dem obigen iſt aber der Factor

$$1{,}51 = \frac{a}{1 + \dfrac{b'\,\lambda}{\varrho^2}}$$

wo a gleich dem eben gefundenen Werth 1,798, $\lambda = 141{,}6$ und $\varrho = 1{,}0236$ zu ſetzen iſt. Es ergiebt ſich alsdann für b' der Werth

$$b' = 0{,}001367.$$

Dividirt man dieſen Werth von b' durch den für Platin gefundenen Werth von b, ſo kommt

$$\frac{b'}{b} = 0{,}1552,$$

d. h. die Verzögerungskraft des Kupfers iſt 0,155mal ſo groß wie die des Platins, oder, wenn man die Verzögerungskraft des Platins zur Einheit nimmt, ſo iſt die des Kupfers gleich 0,1552.

Auf ähnliche Weiſe beſtimmte Rieß auch die Verzögerungskraft anderer Metalle und fand für:

	Verzögerungskraft.	Umgekehrte Werthe der Verzögerungskraft, Kupfer = 100 geſetzt.
Silber	0,1043	148,74
Kupfer	0,1552	100
Gold	0,1746	88,87
Cadmium	0,4047	38,35
Meſſing	0,5602	27,70
Palladium	0,8535	18,18
Eiſen	0,8789	17,66
Platin	1,	15,52
Zinn	1,053	14,70
Nickel	1,180	13,15
Blei	1,503	10,32
Neuſilber	1,752	8,86.

Die erſte Zahlenreihe giebt das Verhältniß an, in welchem Drähte von denſelben Dimenſionen, aber verſchiedenen Stoffes die Entladung der elektriſchen Batterie verzögern. Die umgekehrten Werthe der Verzögerungskräfte, welche in der zweiten Zahlenreihe ſtehen, entſprechen dem, was die Phyſiker Leitungsfähigkeit zu nennen pflegen.

49 **Erwärmungsvermögen der Metalle.** Als in dem Thermometer ſich ein Platindraht von 59,25‴ Länge und 0,04098‴ Radius, in dem Auslader aber ein Kupferdraht von 0,041952‴ Halbmeſſer und 141,6‴ Länge befand, gab eine Beobachtungsreihe

$$h = 1{,}51 \frac{q^2}{s}.$$

Bei dieſen Verſuchen wurde ein Thermometer angewandt, deſſen Kugel 22668 Kubik-Linien enthielt, was 188404 Scalentheile ausmachte. Eine Depreſſion von 1‴ entſprach alſo, wie ſich aus den Seite 116 angeführten Betrachtungen ergiebt, einer Temperaturerhöhung der Luft von 0,00802°. Die Temperaturerhöhung des Drahtes ergiebt ſich aus der Formel

$$T = 0{,}00802\, h \left(1 + \frac{m\,c}{M\,C}\right)$$

auf die Seite 117 angegebene Weiſe. Führt man die Rechnungen aus, ſo ergiebt ſich als Temperaturerhöhung des Platindrahtes für $\frac{q^2}{s} = 1$

0,4635°.

Wurden nun die Drähte vertauſcht, ſo daß der Kupferdraht in dem Thermometer, der Platindraht aber im Auslader war, ſo kam

$$h = 0{,}46 \frac{q^2}{s},$$

woraus sich für $\frac{q^2}{s} = 1$ als Temperaturerhöhung des Kupferdrahtes

$$0{,}04678^{\circ}$$

ergiebt. Derselbe Entladungsschlag bringt also in den beiden Drähten sehr ungleiche Erwärmungen hervor. Freilich waren auch die Halbmesser nicht ganz gleich, der des Platindrahtes war 0,04098‴, der des Kupferdrahtes 0,04195‴, wie oben (Seite 106) gezeigt wurde; verhalten sich aber die Temperaturerhöhungen der Drähte caeteris paribus wie die 4ten Potenzen der Halbmesser, demnach würde ein Platindraht von den Dimensionen des Kupferdrahtes eine Temperaturerhöhung von

$$0{,}4635\ \frac{0{,}04098^4}{0{,}04195^4} = 0{,}4230^{\circ}$$

erhalten.

Bei gleichen Dimensionen bringt also derselbe Entladungsschlag in einem Platin- und einem Kupferdrahte Temperaturerhöhungen hervor, welche sich verhalten wie 0,4230 zu 0,04678, derselbe Entladungsschlag bringt also in einem Kupferdrahte eine

$$\frac{0{,}04678}{0{,}4230} = 0{,}1106$$

mal so große Temperaturerhöhung hervor, als in einem gleich dicken Platindraht, das Kupfer hat eine 0,1106mal so große Erwärmungsfähigkeit als das Platin.

Rieß hat nach seinen Formeln 0,1133 statt 0,1106 gefunden. Die Differenz ist so unbedeutend, daß sie nicht weiter untersucht zu werden braucht.

Auf ähnliche Weise hat Rieß auch das Erwärmungsvermögen anderer Metalle bestimmt, er fand für:

	Erwärmungsvermögen.	Wärmemengen $e\,c\,g$
Silber	0,1267	0,1126
Kupfer	0,1133	0,1447
Gold	0,2112	0,1847
Messing	0,3861	0,5616
Eisen	0,7080	0,9148
Platin	1	1
Zinn	1,570	0,8917
Nickel	0,8727	1,182
Blei	2,876	1,455.

Die erste dieser Zahlenreihen giebt die Erwärmungsfähigkeit der Metalle, d. h. das Verhältniß der Temperaturerhöhungen, an welche verschiedenartige Drähte derselben Dicke erfahren würden, wenn sie, Ende an

Ende hinter einander befeſtigt, zugleich eine elektriſche Batterie entladen.

Wenn man die Erwärmungsfähigkeit der Metalle mit ihrem ſpecifiſchen Gewichte und ihrer ſpecifiſchen Wärme multiplicirt, ſo erhält man Zahlen, welche angeben, wie ſich die Wärmemengen verhalten, welche durch denſelben Entladungsſchlag in gleich dicken Drähten frei werden.

Nehmen wir auch hier wieder das Platin zur Einheit, ſo müſſen wir alle gefundenen Producte noch durch das ſpecifiſche Gewicht und die ſpecifiſche Wärme des Platins dividiren. Auf dieſe Weiſe ſind die Zahlen der zweiten Zahlenreihe erhalten worden, welche mit Wärmemengen überſchrieben iſt.

Dieſe Zahlenreihe giebt alſo an, in welchem Verhältniß die Wärmemengen ſtehen, welche in verſchiedenartigen Drähten von gleichem Halbmeſſer frei werden würden, wenn ſie, Ende an Ende befeſtigt, eine elektriſche Batterie entladen.

Vergleicht man dieſe Zahlen mit den auf Seite 130 angegebenen Verzögerungskräften, ſo ſieht man, daß ſie faſt ganz gleich ſind (die Differenzen ſind gering genug, um durch die ſchon an und für ſich ſchwankenden Werthe der Wärmecapacität und des ſpecifiſchen Gewichts in Verbindung mit dem Beobachtungsfehler erklärt zu werden); die verzögernde Kraft der verſchiedenen Metalle verhält ſich alſo wie die durch den elektriſchen Entladungsſchlag caeteris paribus in den Drähten frei werdenden Wärmemenge.

Daraus folgt ferner, daß man das relative elektriſche Erwärmungsvermögen eines Metalles findet, wenn man die elektriſche Verzögerungskraft deſſelben durch ſeine Wärmecapacität und ſein ſpecifiſches Gewicht dividirt (und dann noch mit dem ſpecifiſchen Gewichte und der Wärmecapacität des Platins multiplicirt, wenn das Erwärmungsvermögen des Platins = 1 ſeyn ſoll).

50 **Wärmemenge, welche durch den Entladungsſchlag überhaupt erzeugt wird.** Vorſſelmann de Heer benutzt die eben mitgetheilten Erfahrungen, um daraus auf die ganze Wärmemenge zu ſchließen, welche ein elektriſcher Entladungsſchlag erzeugt (P. A. 48. 292), nachdem er mit den Rieß'ſchen Formeln eine Umwandlung vorgenommen hat, die im Weſentlichen mit der auf S. 121 gegebenen Transformation ganz übereinſtimmt.

Es ergiebt ſich auf dieſe Weiſe, welches die Länge L eines Platindrathes von einer beſtimmten Dicke ſeyn müßte, wenn er dem Entladungsſchlag denſelben Widerſtand entgegenſetzen, oder mit anderen Worten, die Entladung gerade eben ſo verzögern ſollte, wie es durch die unveränderlichen Theile des Schließungsbogens geſchieht.

Da die Wärmemenge, welche in einem Drahtſtücke frei wird, ſeiner Ver-

zögerungskraft proportional ist, und da man ferner an einer Stelle des Schließungsbogens die Erwärmung eines bestimmten Drahtstückes mit Hülfe des elektrischen Luftthermometers bestimmen kann, so kann man berechnen, wie groß die Wärmemenge ist, welche in dem ganzen Schließungsbogen frei werden würde, wenn derselbe durch einen einzigen Draht von der Länge $L + \lambda$ und einer gewissen Dicke gebildet würde. Vorsselmann de Heer nimmt nun an, daß in dem ganzen Schließungsbogen wirklich eine der berechneten ganz gleiche Wärmemenge frei wird, weil der Schließungsbogen dieselbe Verzögerungskraft hat wie die berechnete Drahtlänge und der frei werdenden Wärme, ja der Verzögerung proportional ist.

Gegen diesen Schluß aber protestirt Rieß (P. A. 48. 320), indem er mit Recht einwendet, daß der wesentlichste Theil der Verzögerung im Schließungsbogen nicht sowohl von den continuirlichen metallischen Theilen des Schließungsbogens als vielmehr von den Verbindungsstellen herrührt, und daß uns die Versuche über das Verhältniß zwischen Verzögerungskraft und Wärmeentwicklung nur für continuirliche Drähte, aber nicht für discontinuirliche Metallstücke Auskunft geben, daß wir über das Verhältniß zwischen der Verzögerungskraft und Erwärmung an den Verbindungsstellen noch gar nichts wissen.

Glühen und Schmelzen der Metalldrähte durch elektrische Entladungen. Während schwächere Entladungsströme in dünnen Metalldrähten eine Erwärmung hervorbringen, deren Gesetze Rieß gründlich studirt hat, und mit denen wir uns bisher beschäftigt haben, bringen stärkere Entladungen die Drähte zum Glühen, ja zum Schmelzen. 51

Es ist nun die Frage, ob diese Wirkungen, nämlich Glühen und Schmelzen der Drähte sich durch eine Steigerung der elektrischen Erwärmung nach den für niedrigere Temperaturen ermittelten Gesetzen erklären lassen oder nicht.

Rieß hat das Glühen und Schmelzen von Metalldrähten durch Elektricität genauer untersucht (P. A. 65. 481) und gezeigt, daß dies nicht der Fall ist.

Als in dem Schließungsbogen der Batterie ein dünner Platindraht von 15 Linien Länge, und ein dickerer im Luftthermometer eingeschlossener Platindraht eingeschaltet war, ergab sich aus den bei schwächeren Entladungen am Luftthermometer gemachten Beobachtungen nach den obigen Gesetzen für die Einheit der Ladung eine Temperaturerhöhung von 0,68° des dünnen Drahtes.

Durch Entladung der Elektricitätsmenge 42 in 5 Flaschen wurde der Draht vollständig geschmolzen; berechnet man aber für diese Ladung die Temperaturerhöhung des dünnen Drahtes nach den bekannten Gesetzen, so findet man $0{,}68 \frac{42^2}{5} = 245°$.

Dieſe Temperatur reicht nicht zum Glühen, geſchweige denn zum Schmelzen des Platins hin, und ſomit iſt auch klar, daß die Temperatur von 245°, welche nach den für ſchwächere Ladungen abgeleiteten Geſetzen berechnet wurde, nicht die ſey, welche das durch Elektricität geſchmolzene Platin wirklich beſaß.

Es geht daraus hervor, daß eine ſtarke Entladung in einer anderen Weiſe auf den Draht wirken müſſe als ſchwächere, was auch daraus hervorgeht, daß eine ſtarke Entladung am Drahte mechaniſche Wirkungen ausübt, welche den ſchwächeren Entladungen ganz fremd ſind.

Rieß hat mit großer Sorgfalt die Wirkung allmälig verſtärkter Entladungsſchläge unterſucht. Um ſehr ſtarke Effecte hervorbringen zu können, wandte er eine Batterie von 7 Flaſchen mit 2,6 füßiger Belegung an (ſoll wohl heißen, daß jede Belegung 2,6 Quadratfuß betrug).

Lange zuvor, ehe die zum Glühen nöthige Elektricitätsmenge erreicht iſt, zeigen ſich am Draht Erſcheinungen, welche ein gewaltſames Eindringen der Elektricität bekunden; der Draht wird ſichtbar erſchüttert, es treten kleine Funken an ſeinen Enden auf, es werden von ſeiner Oberfläche Theilchen losgeriſſen, die ſich in Geſtalt eines dichten Dampfes von ihm erheben. Oft geſchieht gleichzeitig mit dem Auftreten der Funken das Losreißen größerer Metalltheile, die fortgeſchleudert und erglühend dem Funken ein ſprühendes Anſehen geben. Noch mehr geſteigerte Ladungen bringen Einbiegungen im Draht hervor, die gerade ſo ausſehen, als ob ſie mit einem kantigen Inſtrument gemacht worden wären. Wir wollen hier nur eine der Verſuchsreihen anführen, welche dieſe Erſcheinungsreihe darthaten. Ein Platindraht von 0,0261 Linien Radius und 16 Linien Länge gab folgende Erſcheinungen.

Flaſchenzahl.	Elektricitätsmenge.	
4	6	Funken an der inneren Seite des Drahtes (die der inneren Belegung zunächſt liegt).
	8	Dampfſtreifen am ganzen Drahte.
	9	Dampffunken an der äußeren Seite.
	10	Daſſelbe.
	11	Weder Funken noch Dampf; ſtarke Einbiegung.
	12	Funken an der äußeren Seite, Einbiegung verſtärkt.
	13	Der Draht glüht.

Alle dieſe Erſcheinungen, welche dem Glühen vorangehen, zeigen ſich leichter, wenn der Draht nicht angeſpannt iſt.

Schon frühere Beobachter hatten eine Verkürzung der durch elektriſche Entladungen zum Glühen gebrachten Drähte beobachtet; dieſe Verkürzung erklärt ſich nun durch die erwähnten Einbiegungen.

Die erwähnten Funken am Ende des Drahtes hängen vom Material des Drahtes und dem der Klammer ab. Die Sprühfunken zeigen ſich beim Eiſen in größter Ausdehnung, beim Kupfer ſind gar keine Funken bemerkt worden.

Viel conſtanter als das Auftreten der Funken iſt die Bildung der Dampfwolken, welche bei keinem Metall gefehlt hat. Die Leichtigkeit, mit welcher der Dampf gebildet wird, variirt bei verſchiedenen Metallen nicht mehr als bei verſchiedenen Drähten deſſelben Metalls. Die Dampfbildung wird durch eine größere Anzahl von Furchen, welche das Zieheiſen auf den Draht zurückgelaſſen hat, befördert. Nach ſorgfältigem Poliren der Drähte fand Rieß die Dampfbildung geringer als ſonſt.

Geſetze des elektriſchen Glühens. 1) Glühen nach der Stärke 52
der Ladung. In den Schließungsbogen wurde ein dünner Platindraht von 0,116 L. Durchmeſſer und 26,6 L. Länge, und außerdem noch ein elektriſches Thermometer mit ſo dickem Platindraht eingeſchaltet, daß er ſelbſt bei den ſtärkſten Entladungen unverſehrt blieb. Eine beſtimmte Zahl von Flaſchen wurde mit ſteigenden Elektricitätsmengen geladen, bis eine Elektricitätsmenge erreicht war, die den Draht in ein bei Tage ſichtbares Glühen verſetzte, jedesmal aber auch die Erwärmung des Thermometers beobachtet. So wurde mit verſchiedener Flaſchenzahl verfahren. Eine ſolche Beobachtungsreihe gab folgende Ladungen, die zum Glühen hinreichten, nebſt den entſprechenden Depreſſionen des Thermometers.

Flaſchenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung des Thermometers.
5	12	20,2
4	11	21,8
3	10	21,6
2	8	20,3.

Um den dünnen Draht zum Glühen zu bringen, waren alſo die Elektricitätsmengen 12 in 5 Flaſchen, 11 in 4, 10 in 3, 8 in 2 Flaſchen nöthig. Dividirt man das Quadrat der Elektricitätsmenge durch die entſprechende Flaſchenzahl, ſo erhält man folgende Quotienten $^{144}/_{5} = 28{,}5$, $^{121}/_{4} = 30{,}2$, $^{100}/_{3} = 33{,}3$, $^{64}/_{2} = 32$.

Dieſe Quotienten ſind ſehr nahe gleich, und man kann daraus ſchließen, daß wenn eine Elektricitätsmenge q in s Flaſchen einen Draht glühend macht, unter ſonſt gleichen Umſtänden die Elektricitätsmenge q' in s' Flaſche dieſelbe Wirkung hervorbringen wird, wenn $\frac{q^2}{s} = \frac{q'^2}{s'}$. In obigen Verſuchen iſt jener Quotient im Mittel gleich 31, wonach für

	2	3	4	5	6	7 Flaſchen
die Elektricitätsmengen	7,9	9,6	11	12,4	13,6	14,7

als diejenigen gefunden werden, welche den erwähnten Draht glühend machen.

Wir haben ſchon oben geſehen, daß die Erwärmung, welche ein Entladungsſtrom im elektriſchen Thermometer hervorbringt, unter ſonſt gleichen Umſtänden dieſelbe bleibt, ſo lange der Quotient $\frac{q^2}{s}$ oder was daſſelbe iſt, das Product der elektriſchen Quantität q multiplicirt mit der Dichtigkeit $\frac{q}{s}$ ſich nicht ändert. Da nun aber auch zum Glühen des dünnen Drahtes ſtets derſelbe Werth von $\frac{q^2}{s}$ nöthig iſt, ſo läßt ſich erwarten, daß die Entladungen, welche das Glühen des dünnen Drahtes bewirken, im elektriſchen Thermometer auch gleiche Erwärmung hervorbringen, was bei der zuletzt angeführten Verſuchsreihe in der That ſehr nahe der Fall iſt.

Wir wollen der Kürze halber den Strom durch ſeine erwärmende Kraft meſſen, und überall unter *Stärke des Entladungsſtroms* die Größe der Erwärmung verſtehen, welche derſelbe in einem conſtanten im Schließungsbogen befindlichen Drahte hervorbringt. Die Stärke des Entladungsſtroms iſt alſo ſtets dieſelbe, ſo lange caeteris paribus auch der Werth von $\frac{q^2}{s}$ unverändert bleibt.

2) *Glühen des Drahtes nach ſeiner Länge.* Wenn ein Entladungsſtrom hinreicht, um einen dünnen Draht glühend zu machen, ſo wird eine Verlängerung des Drahtes den Strom in der Weiſe verzögern, daß ſie nun nicht mehr im Stande iſt, den Draht in's Glühen zu bringen. Wenn außer dem dünnen Draht auch noch ein elektriſches Thermometer in den Schließungsbogen eingeſchaltet iſt, ſo wird eine Verlängerung des dünnen Drahtes durch die Verzögerung der Entladung auch eine geringere Erwärmung des Thermometers zur Folge haben.

Da die Stärke des Entladungsſtromes durch die Erwärmung des elektriſchen Thermometers gemeſſen wird, ſo kann man auch alſo ſagen, daß durch die Verlängerung des dünnen Drahtes die Stärke des Entladungsſtromes vermindert wird.

Wenn alſo eine gewiſſe Ladung der Batterie eben hinreicht, einen dünnen Draht in's Glühen zu bringen, ſo wird bei Verlängerung des Drahtes dieſelbe Ladung eine geringere Stärke des Entladungsſtromes geben und zum Glühen des Drahtes nicht mehr hinreichen. Um den längeren Draht glühend zu machen, muß die Ladung verſtärkt werden und zwar, wie aus den Verſuchen von *Rieß* hervorgeht, gerade um ſo viel, daß die Stärke des Entladungsſtromes wieder die vorige Größe erreicht.

Ein 15,7 Linien langer Platindraht kam in's Glühen bei 4 Flaschen, einer E Menge 12, die Erwärmung des Thermometers war 8.

Ein gleich dicker 77,5 Linien langer Draht kam in's Glühen bei 4 Flaschen, einer E Menge 22, die Erwärmung des Thermometers war ebenfalls 8. Gleich dicke und aber verschieden lange Drähte erfordern also zum Glühen eine gleiche Stärke des Entladungsstromes.

3) Glühen von Drähten nach der Dicke derselben. Wenn eine bestimmte Stärke des Entladungsstromes einen Draht in's Glühen bringt, so wird bei gleichem Werth von q und s ein dickerer, gleich langer Draht nicht mehr in's Glühen kommen, während die Stärke des Entladungsstromes wegen der verminderten Verzögerung zunimmt.

Um den dickeren Draht in's Glühen zu bringen, muß q vergrößert werden, wodurch auch die Stärke des Entladungsstromes vermehrt wird.

Um gleich lange Drähte, deren Radien 0,018; — 0,021; — 0,026 Linien betrugen, waren Entladungsströme nöthig, deren Stärke am gleichzeitig eingeschalteten elektrischen Thermometer gemessen 9, 20, 43 war.

Die vierten Potenzen der drei Radien verhalten sich wie 10:19:45, und diese Zahlen stehen sehr nahe in demselben Verhältniß wie 9:20:43.

Die Stärke des Entladungsstromes einer Batterie, die zum Glühen eines Drahtes nöthig wird, ist also dem Biquadrate des Drahthalbmessers proportional.

4) Glühen von Drähten verschiedener Metalle. Aus den Versuchen, die Rieß über das Glühen von Drähten verschiedener Metalle angestellt hat, folgt, daß, wenn man mit 1 die Stärke des Entladungsstromes bezeichnet, welche zum Glühen eines Platindrahtes erforderlich ist, daß alsdann bei gleichen Dimensionen ein Draht von

Eisen	bei	einer	Stromstärke	0,816
Neusilber	»	»	»	0,950
Platin	»	»	»	1,00
Palladium	»	»	»	1,07
Messing	»	»	»	2,59
Silber	»	»	»	4,98
Kupfer	»	»	»	5,95

glüht.

Erscheinungen, welche dem Glühen folgen. Wenn die Stärke 53
des Entladungsstromes noch mehr gesteigert wird, als zum ersten Glühen nothwendig ist, so treten mit wachsender Stärke der Reihe nach folgende Erscheinungen auf. Der Draht wird weiß glühend; er reißt von seinen Befestigungen ab, er zersplittert, er schmilzt, er zerstäubt.

1) Das Zerreißen. Ein Platindraht von 0,026 Linien Radius und 16 Linien Länge gab folgende Erscheinungen:

Flaſchenzahl.	E Menge.	
4	12	der Draht glüht,
	14	derſelbe heftig glühend,
	15	weißglühend,
	16	in drei hackige Stücke zerriſſen.

Nach Cavallo ſoll die Gluth am Drahte vom poſitiven Drahtende gegen den negativen fortſchreiten. Rieß bemerkte bis auf einen Fall ein entgegengeſetztes Fortſchreiten des Glühens.

Nach von Marum ſoll, wenn der Draht zum Theil zerſtört wird, ſtets der der poſitiven Belegung zunächſt liegende Theil zerſtört werden; Rieß dagegen fand die Drähte bald an dem poſitiven, bald an dem negativen Ende abgeriſſen.

Ein Draht, der ſchon einige Stufen des Glühens durchgemacht hat, wird leichter zerriſſen als ein neuer.

2) Das Zerſplittern. Setzt man Drähte einer ſtärkeren Entladung aus, als zu ihrer Zerreißung nöthig iſt, ſo zerſplittern ſie unter Lichterſcheinung in einer größeren oder geringeren Menge kleiner Stücke, die bis in einige Entfernung zerſtreut werden. An den aufgeſammelten Stücken läßt ſich erkennen, daß die Zerſtückelung des Drahtes von einer Zerſchlitzung und Zerſplitterung herrührt, und daß eine Schmelzung, wo ſie auftritt, nur ſecundär erſcheint.

Ein 16 Linien langer, 0,079 Linien dicker Platindraht wurde mit einer $7\frac{1}{2}$ Linie weiten Glasröhre umgeben, im Schließungsbogen befeſtigt. Die Entladung der in 7 Flaſchen angehäuften Elektricitätsmenge 22 brachte ihn in's Glühen, die Elektricitätsmenge 35 zerriß ihn in Stücke, welche im Rohre gefunden wurden. Die Stücke hatten an der Oberfläche deutliche Zeichen von Schmelzung, und vier der größten erſchienen zu einer verſchlungenen Figur zuſammengelöthet, was darauf deutete, da ſie heiß gegen einander und gegen die Wandung der Röhre geſchleudert worden waren. Die Enden aller Stücke waren nicht geſchmolzen, die meiſten erſchienen ſcharf zugeſpitzt. Ein ziemlich gerades Stück wurde unter dem Mikroſcop gemeſſen; es hatte in der Mitte 0,081 Linien, an dem einen Ende 0,022 Linien Durchmeſſer, der Draht war alſo der Länge nach zerriſſen worden. Aehnliches zeigten andere Stücke.

Mehrere andere Verſuche gaben ähnliche Reſultate. Bei behutſamer Steigerung der Ladung läßt ſich die Zerſplitterung ohne eine Spur von Schmelzung hervorbringen.

3) Die Schmelzung. Durch fortwährend geſteigerte Entladungen zerſplittern die Drähte in immer kleinere Stücken; dieſe ſchmelzen an der Oberfläche und an den Enden, und fließen zuletzt in Kugeln zuſammen.

Ueberall werden die Dräthe hart an ihren Befestigungen abgerissen, die Stücke weit fortgeschleudert. Alle folgenden Versuche wurden unter einer Glasglocke angestellt, die zerstreuten Drahtstücke auf einem untergelegten Papierblatte gesammelt.

Ein Platindraht, 0,0258‴ Rad., 19‴ lang, wurde bei $s=5$ und $q=11$ glühend; bei $q=20$ zersplittert und geschmolzen. Viele $\frac{1}{2}$ Linie lange Stücke hatten Kugeln an den Enden; einzelne Splitter waren eingeschmolzen. Ein gleicher Platindraht wurde bei $q=22$ in viele kleine ganz runde Kugeln geschmolzen.

Ein Silberdraht, 0,0264‴ Rad.; 20‴ lang, zersplitterte und schmolz bei $s=6$, $q=26$; es wurden einzelne Kugeln und angeschmolzene Splitter gesammelt.

Ein Zinndraht; Rad. 0,037, Länge 15‴. Bei $s=5$, $q=20$ tröpfelten Kugeln vom Drahte herunter, welche unter der bekannten Feuererscheinung herumhüpfend oxydirt wurden.

Ein Kupferdraht (Rad. 0,0253, Länge 16 Linien), bei $s=6$, $q=25$ glühend, bei $q=25$ in einen Haufen sehr kleiner Kugeln verwandelt. Es gelang nicht, größere Kugeln von Kupfer zu erhalten.

Hier ist die zur vollkommenen Schmelzung nöthige Ladung nicht viel größer als die, welche das erste Glühen erzeugt. Es kommt dies daher, daß bei den oxydirbaren Metallen die Temperatur noch durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft gesteigert wird, daß also zu den elektrischen Effecten noch ein chemischer hinzutritt. Am auffallendsten ist dies beim Eisen, welches oft bei Entladungen schmilzt, die direct nur ein mäßiges Glühen erzeugt haben würden.

Ein Eisendraht, 0,0266‴ Rad.; 17‴ lang, kam bei $s=3$, $q=13$ in starkes Glühen, welches aber nicht wie sonst augenblicklich aufhörte. Die Gluth steigerte sich bis zum Weißglühen; es tröpfelten einige Kugeln vom Draht ab und hüpften unter lebhaftem Funkensprühen auf der Unterlage umher

Der Rückstand, welcher nach dem Schmelzen eines Drahtes in der Flasche bleibt, ist sehr bedeutend, er betrug bei einem Versuch von Rieß fast 23 Procent der ganzen Ladung.

4) Die Zerstäubung. Die erste direct sichtbare Wirkung der elektrischen Entladung auf einen neuen Draht besteht, wie oben bemerkt wurde, in der Bildung einer Dampfwolke, die sich von dem Drahte erhebt. Es ist wahrscheinlich, daß dieser Dampf aus Metalltheilchen besteht, welche von der Oberfläche des Drahtes losgerissen werden, und deren Menge daher von der Beschaffenheit der Oberfläche abhängt. Durch Steigerung der Ladung über den Punkt hinaus, bei welchem sie den Draht vollständig schmelzen würde, ist es möglich, die ganze Drahtmasse in solchen Dampf zu

verwandeln. Dieſe Verwandlung geſchieht unter glänzender Lichtentwicklung und mit einem ſtarken Knall.

Ein Platindraht (rad. 0,0309 L., Länge 15 L.) wurde bis $s = 5$ und $q = 13$ glühend, und ſchmolz bei $q = 17$ zu Kugeln. Ein gleicher Platindraht wurde bei $q = 22$ mit glänzendem Lichte zerſtäubt, und in der Röhre, welche ihn umgab, zeigte ſich ein grauer abwaſchbarer Anflug.

Derſelbe Verſuch wurde in freier Luft wiederholt, und einige Linien über den Draht ein Glimmerblatt gehalten, welches bei der Zerſtäubung des Drahtes mit grauen und ſchwärzlichen Flocken überzogen wurde, die unter einem Mikroſcop bei 280facher Vergrößerung aus Metallbrocken verſchiedener Größe und Geſtalt zuſammengeſetzt erſchienen.

Die Metalle werden um ſo leichter zerſtäubt, je ſpröder ſie ſind.

54 **Mechanismus des Schmelzens.** Ueberall, wo eine elektriſche Schmelzung eintritt, iſt eine mechaniſche Trennung der geſchmolzenen Maſſe vorhergegangen, und die Schmelzung kann daher nur die Wirkung der Hitze auf fein vertheiltes Metall ſeyn. Den Unterſchied, zwiſchen Schmelzung durch Feuer und Schmelzung durch Elektricität, charakteriſirt Rieß auf folgende Weiſe:

Wenn Feuer auf ein Metall wirkt, ſo erhitzt es daſſelbe fortwährend als ganze zuſammenhängende Maſſe bis zum Schmelzen, die Elektricität hingegen erhitzt das Metall (als zuſammenhängende Maſſe) nur bis zu Temperaturen unter dem Schmelzpunkt, und ſchmilzt durch gleichzeitige Zerſplitterung und Erhitzung.

Franklin ſtellte im Jahre 1747 die Anſicht auf, welche er jedoch ſpäter zurücknahm, daß der Blitz die Cohäſion eines Metalles ohne Hülfe der Wärme löſe, und eine kalte Schmelzung deſſelben zu Wege bringe. Dieſe Anſicht wurde von Berthollet wieder aufgenommen, der jede elektriſche Einwirkung auf eine Subſtanz durch Auseinandertreibung der Partikel derſelben erklärte, und die bei der Schmelzung auftretende Wärme nur als ein ſecundäres Phänomen auffaßte.

In dieſer Anſicht liegt allerdings, nach den oben mitgetheilten Erfahrungen, etwas Wahres, allein ſie läßt die Wärme ganz unberückſichtigt, welche ja ſchon vor der mechaniſchen Wirkung auftritt; dagegen iſt die ſpäter allgemein gewordene Anſicht, als ob die elektriſche Schmelzung lediglich ein Reſultat der Erwärmung ſey, eben ſo einſeitig, indem ſie den mechaniſchen Effect vernachläſſigt.

55 **Veränderungen im Verzögerungswerthe der Metalle bei ſteigenden mechaniſchen Wirkungen.** Wir haben oben Seite 104 geſehen, daß zwiſchen der Erwärmung h eines Drahtes, der Elektricitätsmenge q und der Flaſchenzahl s die Relation

$$h = n \frac{q^2}{s}$$

besteht, wo n ein Factor ist, der für eine ganze Beobachtungsreihe merklich constant blieb. Dies findet nicht mehr Statt, wenn sich in dem Schließungsbogen ein Draht befindet, der durch die angewandten Entladungen mechanisch afficirt und ins Glühen versetzt wird, wie aus folgender Versuchsreihe ersichtlich ist. Als außer dem Thermometer ein 17 L. langer Platindraht, rad. 0,0209 eingeschaltet war, ergab sich

s	q	h	n	
4	5	7,6	1,22	
	7	14,0	1,15	
	9	20,0	0,99	Einbiegung,
	11	27,2	0,90	Draht glühend,
	13	33,3	0,80	weißglühend,
	15	41,3	0,95	schmilzt zu Kugeln,

Der Verzögerungswerth nimmt also zu, wenn durch steigernde Ladungen mechanische Effecte und Glühen hervorgebracht werden, er nimmt aber beim Schmelzen wieder zu.

Rieß ist nun der Ansicht, daß die anfänglichen Wärmeerscheinungen durch eine continuirliche Fortpflanzung im Drahte, d. h. durch eine solche hervorgebracht werden, bei welcher die Elektricität mit gleichförmiger Geschwindigkeit den Draht durchläuft, während bei mechanischen Wirkungen, beim Glühen u. s. w. zum Theil wenigstens eine stoßweise Fortpflanzung stattfinden soll. Ist die Elektricitätsmenge zu groß, um continuirlich geleitet zu werden, so wird sie sich an einzelnen Stellen, an denen durch irgend eine Ursache ihrem Fortschreiten ein größeres Hinderniß entgegensteht, sich anhäufen, bis sie im Stande ist, den Widerstand gleichsam zu durchbrechen. Daher die Zunahme des Verzögerungswerthes. Die Stellen der Intermittenz der Entladung scheinen durch die Verbiegungen angedeutet zu seyn. Beim Schmelzen wird der Verzögerungswerth wieder kleiner, weil hier zum Theil wenigstens nur Ueberspringen der Entladung stattfindet.

Eine verschiedenartige Fortpflanzung der Elektricität findet auch bei nichtmetallischen Substanzen Statt. Bei der Entladung vermittelst eines die Luft durchbrechenden Funkens, durch Lichtbüschel u. s. w., findet eine discontinuirliche Fortpflanzung der Elektricität durch die Luft Statt, während der von Coulomb nach seinen Gesetzen erkannte allmälige Uebergang der Elektricität in Luft als die continuirliche Entladung eines elektrischen Körpers durch die Luftmasse anzusehen ist. Durch eine Röhre mit Wasser kann eine Batterie geräuschlos vollständig entladen werden (continuirliche Entladung); bei Verstärkung der Ladung erscheint aber ein

Funken in der Röhre, welche gewaltsam zertrümmert wird (discontinuirliche, explosive Entladung).

Daß sich der Entladungsschlag im Wasser auf verschiedene Weise fortpflanzt, zeigt sich am auffallendsten, wenn man außer der Wasserröhre noch ein elektrisches Thermometer in den Schließungsbogen der Batterie einschaltete. Bei 4 Flaschen gab

die Elektricitätsmenge.	Erwärmung am Thermometer.
5	0
$5^1/_2$	0
6	0
$6^1/_2$	27,5
7	35.

So lange eine continuirliche Entladung im Wasser stattfindet, verzögert es die Entladung so stark, daß das Thermometer keine Erwärmung anzeigen kann; bei einer geringen Vermehrung der Ladung tritt aber die Durchbrechung und mit ihr eine bedeutende Temperaturerhöhung im Thermometer auf.

Der Nebenstrom.

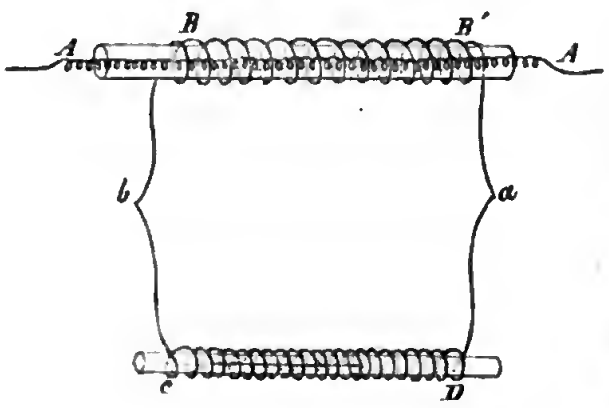
56 **Existenz des Nebenstromes.** Wenn eine elektrische Batterie durch einen längeren Metalldraht entladen wird, so kann der in dem Schließungsbogen circulirende Strom in einer naheſtehenden geschlossenen Drahtleitung einen Strom induciren.

Der Draht, welcher den Schließungsbogen der Batterie bildet, soll der Hauptdraht heißen.

Der Draht, in welchem durch die Einwirkung des Stromes im Hauptdraht ein Strom inducirt wird, soll der Nebendraht genannt werden.

Die Existenz des Nebenstromes hat Rieß (P. A. 47. 55) auf folgende Weise dargethan.

Fig. 59.



In Fig. 59 sey *AA* ein spiralförmig auf eine Glasröhre aufgewundener Kupferdraht, welcher in den Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet ist, *AA* sey also der Hauptdraht.

Ueber den Hauptdraht sey eine weitere Glasröhre geschoben und auf diese der Nebendraht

BB' aufgewunden, deſſen Enden frei herabhängen. Bei a und b ſind die Enden einer dritten Spirale CD, welche ebenfalls auf eine Glasröhre aufgewunden iſt, befeſtigt.

Wird die Verbindung bei b gelöſt und die Drahtenden in einige Entfernung gebracht, ſo ſieht man bei b einen Funken überſpringen, wenn die hinlänglich ſtark geladene Batterie durch den Hauptdraht entladen wird.

Dieſer Funke iſt ein Beweis für die Exiſtenz des Nebenſtromes; ein Ueberſchlagen der Elektricität vom Hauptdraht auf den Nebendraht kann nicht ſtattfinden, wenn man die Nebenſpirale bei den Enden der Glasröhre, auf welche ſie gewickelt iſt, noch hinlänglich weit frei läßt.

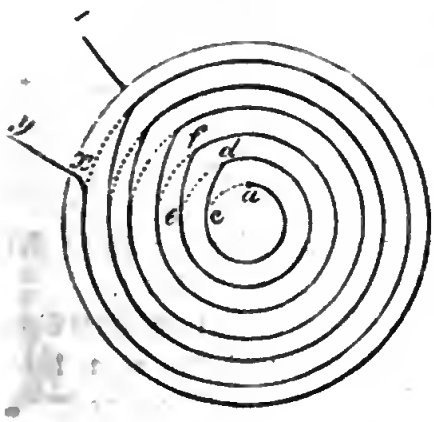
Legt man in die Glasröhre, auf welche die Spirale CD, welche wir die Magnetiſirungsſpirale nennen wollen, eine Stahlnadel (eine engliſche Nähnadel), ſo wird dieſe durch den Nebenſtrom magnetiſirt.

Ein in die Nebenſchließung eingeſchaltetes elektriſches Luftthermometer zeigt eine durch den Nebenſtrom hervorgebrachte Erwärmung.

Fig. 59 zeigt die Form, in welcher Rieß zuerſt ſeine Verſuche über den Nebenſtrom anſtellte. Später gab er der Haupt- und Nebenſpirale eine bequemere Form. (P. A. 50. 9.)

In einer aus drei aufgeleimten Dicken beſtehenden Holzſcheibe, deren Durchmeſſer von der Größe der zu bildenden Spirale abhängt, werden concentriſche Rinnen eingeſchnitten, und zu einer ſpiralförmigen Figur vereinigt, indem je zwei aufeinander folgende Kreiſe durch einen gekrümmten Einſchnitt verbunden werden; der innerſte Kreis iſt mit dem zweiten durch die Rinne cd, der zweite mit dem dritten durch ef u. ſ. w. verbunden. In dieſe Rinnen wird nun ein ungefähr $\frac{1}{2}$ Linie dicker Kupferdraht ſo eingelegt, daß er eine Spirale bildet. Das eine Drahtende iſt bei a durch die Scheibe durchgeſteckt, und geht auf der unteren Seite des Brettes nach z. Von a aus gehen die Drahtwindungen nach c, von c nach d, von d nach e, f u. ſ. w.; xy iſt das zweite Ende des zu einer flachen Spirale aufgewundenen Drahtes.

Fig. 60.



Schon vor dem Einlegen des Drahtes wird die Scheibe mit einem dünnen Ueberzug von ſchwarzem Pech verſehen.

Iſt der Draht durch Auflegen einer heißen Metallplatte gehörig befeſtigt, ſo werden die Zwiſchenräume zwiſchen den Drahtringen mit Pech

ausgefüllt, und eine ſchwere erwärmte Metallplatte auf die Scheibe gelegt, wodurch die Drahtſpirale ganz eben gemacht werden kann. Dieſe Spirale wird nun mit Kohle geſchwärzt, auf eine zweite Holzſcheibe abgedrückt, um die Zeichnung zu einer zweiten Spirale zu erhalten, die der erſten möglichſt entſprechen muß.

Jede der Spiralſcheiben wird nun ſo auf einen Glasfuß befeſtigt, daß ihre Ebene vertikal zu ſtehen kommt. Auf einem und demſelben Geſtell werden zwei ſolche Scheiben einander gegenüber ſo aufgeſtellt, daß man ſie nach Belieben nähern oder entfernen kann. Die Art der Aufſtellung iſt aus Fig. 61 erſichtlich.

Eine andere für viele Zwecke weit bequemere Aufſtellung der flachen Spiralen, wie ich ſie bei Prof. Eiſenlohr in Karlsruhe geſehen habe,

Fig. 61.

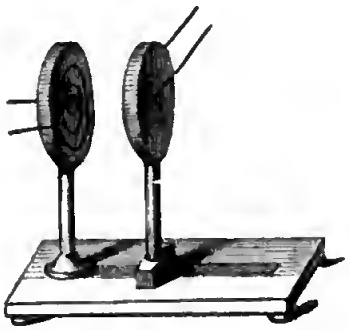
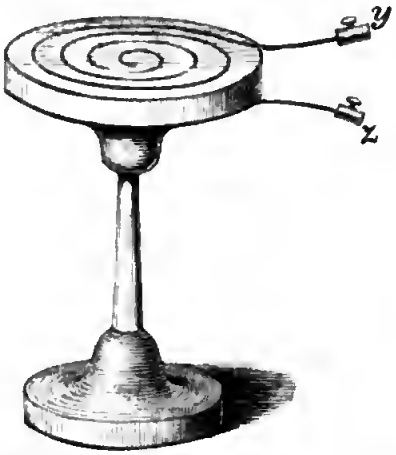


Fig. 62.



iſt Fig. 62 abgebildet. Die eine Spirale iſt auf einem aufrecht ſtehenden Glasfuße ſo befeſtigt, daß ſie eine horizontale Ebene bildet.

Die zweite Spirale iſt ganz in derſelben Weiſe an einem Glasſtab befeſtigt, der jedoch keinen Fuß hat; dieſe Spirale wird von oben her auf die andere geſetzt, wie die obere Condenſatorplatte auf die untere.

Die Entfernung der beiden Spirale kann man dadurch ändern, daß man Glasplatten von verſchiedener Dicke zwiſchen dieſelben legt. Größere Entfernungen laſſen ſich durch Einſchieben gefirnißter Holzſtäbchen, die eine beſtimmte Dicke haben, hervorbringen.

Die Enden des Spiraldrahtes ſind mit Schraubenklemmen z und y verſehen, vermittelſt deren man die Schließung der Spirale beliebig bewerkſtelligen kann.

Wenn y und z der unteren Spirale auf 1 bis 2 Linien genähert, und die beiden Spiralen durch eine Glasplatte getrennt ſind, ſo ſieht man zwiſchen y und z einen Funken überſpringen, wenn durch die obere Spirale

eine hinlänglich geladene Flaſche entladen wird. Es iſt der Nebenſtrom, der hier den Funken bildet.

Magnetiſirung durch den Hauptſtrom. Um nicht zu irrigen 57
Schlüſſen über die Magnetiſirung durch den Nebenſtrom verleitet zu werden, muß man die Magnetiſirung durch den Hauptſtrom ſelbſt erſt gehörig unterſuchen.

Eine ſolche Unterſuchung iſt zuerſt von Savary gemacht worden. Rieß hat die Savary'ſchen Verſuche wiederholt und beſtätigt gefunden. Folgendes ſind die Reſultate der von Rieß über die Magnetiſirung durch den Hauptſtrom gemachten Verſuche. (P. A. 47. 55.)

In den Schließungsbogen der Batterie, welche aus 25 Flaſchen (von $1\frac{1}{2}$ Quadratfuß Belegung) beſtand, wurde eine Spirale von Platindraht eingeſchaltet, welche mit einer Länge von 26 Zoll in 42 Windungen auf eine 3 Zoll lange Glasröhre aufgewunden war; die beiden nicht ſpiralförmig gewundenen Enden dieſes Platindrahtes waren zuſammen noch 34 Zoll lang.

Bei jedem Verſuche wurde eine neue unmagnetiſche engliſche Nähnadel in die Spirale gelegt, welche 13,9‴ lang und in der Mitte 0,19‴ dick war. Nachdem der Entladungsſchlag durch die Spirale hindurch gegangen war, war auch die Nadel magnetiſch geworden. Um die Stärke ihres Magnetismus zu unterſuchen, wurde ſie bis auf eine beſtimmte Entfernung einer 2 Zoll langen Bouſſolennadel genähert (wie, iſt nach der Beſchreibung von Rieß nicht wohl zu verſtehen) und die Ablenkung der Bouſſolennadel beobachtet, welche ſie hervorbrachte.

Bei geſteigerter Ladung der Batterie änderte ſich nicht allein die Stärke, ſondern auch die Polarität des Magnetismus der Nadel, wie man aus folgender Tabelle erſieht:

Q	5	10	15	20	25	27	29	30	32	35
Abſtoßung	9°	14,5	15	10,3	6,5	—2,5	—7,5	—8,5	2,3	11,5

Man ſieht, daß eine ſtärkere Ladung der Batterie nicht unbedingt eine ſtärkere Magnetiſirung zur Folge hatte, daß ferner nicht immer die Magnetiſirung ſo erfolgte, wie man es nach der Amper'ſchen Regel (daß ein mit dem poſitiven Stome ſchwimmend gedachtes Phantom, wenn es die Nadel anſchaut, den Nordpol derſelben zur Linken hat) hätte erwarten ſollen, denn bei allen mit — bezeichnenden Ablenkungen fand eine anormale Magnetiſirung der Nadel Statt.

Bei dieſer Verſuchsreihe nahm die Stärke des Magnetismus der Nadel mit der Größe der Ladung anfangs zu, dann wieder ab, bis endlich die Richtung des Magnetismus ſogar umgekehrt wurde, und erſt bei noch ſtärkeren Ladungen wieder eine normale Magnetiſirung auftrat.

Dieſe Verſuche ſind ein Beweis, daß man von der Polarität der Nadel nicht auf die Richtung des Entladungsſtromes ſchließen darf.

Bei ſchwächeren Ladungen war die Nadel normal magnetiſirt; anormale Magnetiſirung tritt bei ſteigender Ladung nur bei dünneren Nadeln auf; dickere Nadeln ſind ſtets normal magnetiſirt, obgleich ſtärkere und ſtärkere Ladungen auch in ihnen eine Ab- und Zunahme in der Stärke des Magnetismus bewirken.

58 **Magnetiſirung durch den Nebenſtrom.** Dieſe Eigenthümlichkeiten der Magnetiſirung der Stahlnadeln findet in gleicher Weiſe für den Nebenſtrom Statt. Die Magnetiſirung durch den Nebenſtrom wird der Stärke und der Richtung nach geändert:

1) durch Vergrößerung der Ladung;

2) durch Vergrößerung der Oberfläche der Batterie bei gleicher Größe der Ladung. Je größer die Oberfläche, deſto ſtärker fand Rieß den Magnetismus der Nadel; wenn dieſelbe Elektricitätsmenge auf eine größere Oberfläche vertheilt iſt, ſo hat ſie eine geringere Dichtigkeit, welcher eine langſamere Entladung entſpricht, durch welche die Magnetiſirung befördert wird.

3) Es wird der Gang der Perioden der Ab- und Zunahme, ſo wie der Umkehrung des Magnetismus verändert, durch eine Veränderung in der Schließung der Nebenſpirale, dadurch alſo, daß man in der Schließung der Nebenſpirale längere und längere Drähte einſchaltet.

Bleibt die Nebenſchließung zwar metalliſch dieſelbe, wird ſie aber an einer Stelle unterbrochen, ſo daß hier der Nebenſtrom mit einem Funken übergehen muß, ſo hat dies den merklichſten Einfluß auf die Magnetiſirung; oft wird dadurch der Magnetismus auf das bedeutendſte verſtärkt, zuweilen geſchwächt, ja ſogar auch in Beziehung auf die Richtung geändert. Die ſtärkſten Magnetiſirungen durch den Nebenſtrom, die nahe bis zur Sättigung der Nadel gingen, ſind auf dieſe Weiſe erhalten worden.

4) Es findet eine ſucceſſive Veränderung in der Stärke und auch eine Veränderung in der Richtung der Magnetiſirung durch die Nebenſpirale Statt, wenn caeteris paribus die Länge der Schließung der Hauptſpirale ſucceſſiv vergrößert wird.

Zu dieſen Magnetiſirungsverſuchen kann man den Apparat, Fig. 62, ſehr bequem anwenden. Man nimmt die untere Spirale zur Nebenſpirale und ſchaltet die Magnetiſirungsſpirale zwiſchen x und y ein, indem man die Enden der Magnetiſirungsſpirale in ſie einſchraubt.

59 **Wärmeerregung durch den Nebenſtrom.** Daß der Nebenſtrom auch thermiſche Erſcheinungen hervorbringt, iſt bereits erwähnt worden; Rieß hat jedoch auch die Geſetze der Wärmeentwickelung durch den Nebenſtrom näher unterſucht. (P. A. 47. 65.)

In den Schließungsbogen der Nebenſpirale wurde eine Magnetiſirungs-

ſpirale und ein elektriſches Luftthermometer eingeſchaltet. Die folgende Tabelle enthält die thermiſchen und magnetiſchen Wirkungen, welche der Nebenſtrom hervorbringt, wenn die Oberfläche und die Ladung der Batterie geändert wird. s und q haben die bekannte Bedeutung.

s	q	Erwärmung beobachtet.	Erwärmung berechnet.	Magnetiſirung
5	15	3,8	3,4	
	20	6,2	6,0	
	25	9,0	9,4	
	30	12,0	13,5	
10	20	3,4	3,0	0,5°
	30	7,0	6,8	1,5
15	30	4	4,5	1,5
20	30	3,5	3,4	4,0
25	30	2,5	2,7	2,3
	40	4,4	4,8	−0,6
5	20*	6,2		8,8
	25*	8,3		2,0
	30*	9,8		−3,6

In der letzten Columne ſind die durch die magnetiſirte Nadel hervorgebrachten Ablenkungen der Bouſſole in der oben angedeuteten Beziehung verzeichnet. Wo keine Abſtoßung verzeichnet iſt, war die Magnetiſirung unmerklich.

Bis auf die drei letzten mit * bezeichneten Beobachtungen ſtimmen die beobachteten Erwärmungen ſehr wohl mit der Formel $h = a\frac{q^2}{s}$. Aus allen Beobachtungen (die von Rieß gegebene Tabelle enthält noch einige Beobachtungen mehr) ergiebt ſich für a der Mittelwerth 0,075; die mit dieſem Werthe nach der Formel $h = a\frac{q^2}{s}$ berechneten Werthe der Erwärmung ſtimmen ganz gut mit den beobachteten; die Formel

$$h = a\frac{q^2}{s}$$

gilt alſo auch für die durch den Nebenſtrom hervorgebrachten Erwärmungen.

Bei den mit * bezeichneten Beobachtungen war die Nebenſchließung unterbrochen, ſo daß der Nebenſtrom mit einem Funken übergehen mußte. Dies hat, wie bekannt, auf die Magnetiſirung einen ſehr bedeutenden Ein-

fluß, der ſich auch hier zeigt, während die Erwärmung nur unbedeutend dadurch afficirt wird; ſie fällt etwas kleiner aus.

Als in die Hauptſchließung ein 78‴ langer, $^1/_{12}$ Linie dicker Neuſilberdraht eingeſchaltet wurde, fielen die Erwärmungen kleiner aus, der Factor a, welcher oben gleich 0,075 gefunden worden war, ergab ſich nun gleich 0,028.

Wie leicht begreiflich, wird die Elektricitätsmenge im Nebenſtrom deſto größer ſeyn, ein je größerer Theil der Hauptſpirale unter ſonſt gleichen Umſtänden auf die Nebenſpirale einwirkt. Um die hierdurch entſtehende Vergrößerung des Nebenſtromes zu beſtimmen, wurde die Nebenſpirale BB, Fig. 59, nur durch den Platindraht des Thermometers geſchloſſen, zuerſt nur auf die geradlinige Verlängerung der Hauptſpirale AA geſchoben und die Erwärmung gemeſſen, welche durch die Entladung von $q = 20$ in $s = 5$ im Nebendrahte hervorgebracht wurde. Dann wurde in ſucceſſiven Verſuchen eine verſchiedene Anzahl von Windungen der Hauptſpirale unter die Nebenſpirale gebracht und dieſelbe Elektricitätsmenge auf dieſelbe Weiſe entladen. Dieſe Verſuche gaben folgende Reſultate.

Länge des geraden Drahtes.	Zahl der Windungen.	Erwärmung im Nebendraht.
134‴	0	1,85
102	24	4,9
63,4	53	7,6
24,8	82	11,5
0	101	14,0

Die Zahlen der letzten Columne ſind das Mittel aus zwei ſehr nahe daſſelbe Reſultat gebenden Verſuchen.

Da man weiß, welche Erwärmung (1,85) im Nebendraht der Einwirkung eines 134‴ langen gerade ausgeſpannten Stückes des Hauptdrahtes, ſo läßt ſich berechnen, welche Erwärmung im Nebendraht durch die Einwirkung eines 102‴, — 63, 4‴ u. ſ. w. langen geraden Stückes des Hauptdrahtes hervorgebracht wird und ſo iſt man im Stande, zu ermitteln, welche Erwärmung durch die Einwirkung von 24, 53, 82, 101 Windungen des Hauptdrahtes allein hervorgebracht wird; es ergiebt ſich

bei 24 Windungen . . 3,5
» 53 » » . . 6,7
» 82 » » . . 11,2
» 101 » » . . 14,0

Die Erwärmung iſt in der That der Anzahl der wirkenden Windungen

der Hauptspirale sehr nahe proportional, es ergiebt sich also, daß die von dem Schließungsdrahte der Batterie in einem Nebendrahte erregte Elektricitätsmenge unter sonst gleichen Umständen der wirksamen Länge des Schließungsdrahtes proportional ist.

Wenn über dieselbe Hauptspirale AA derselbe Nebendraht einmal parallel mit der Hauptspirale, dann aber mit steileren Windungen aufgewunden wird, so daß also die Hauptspirale zwar immer ihrer ganzen Länge nach, aber einmal auf einen längern mit ihr gleichlaufenden und dann auf einen kürzeren und steiler laufenden Theil des Nebendrahtes einwirkt, so ist im letzteren Fall die Wirkung begreiflicher Weise um so geringer, je mehr die Richtung der Windungen bei den Spiralen von einander abweicht, je steiler also die Nebenspirale im Vergleich zur Hauptspirale ist.

Alle zu den bisherigen Versuchen angewandten Spirale waren rechts gewunden. Auf die Stärke des Nebenstromes ist es nicht gleichgültig, ob die Nebenspirale in gleichem oder entgegengesetztem Sinne aufgewunden ist, wie die Hauptspirale. Auf eine rechts gewundene Hauptspirale wurde 8′ Kupferdraht einmal rechts, einmal links aufgewunden, es ergab sich

	Erwärmung.
Nebenspirale rechts	15,4
» » links	2,7

Wirkung des Hauptdrahtes auf verschiedene Nebendrähte. 60
Ein 26 Zoll langes Stück ab desjenigen Drahtes, welcher den Hauptdraht bildete, war geradlinig ausgespannt; parallel mit ihm lief ein auf gleicher Länge gerade ausgespanntes Stück cd des Nebendrahtes. Die ganze Nebenschließung, in welche der elektrische Luftthermometer eingeschaltet wurde, bestand aus Kupfer- und Eisendraht. Mag nun das Stück cd der Nebenschließung, welches ab gegenüber lag, ein Theil des Eisendrahtes oder ein Theil des Kupferdrahtes seyn, welcher die Nebenschließung bildet, so ist bei gleicher Ladung der Batterie die Erwärmung des Thermometers dieselbe, vorausgesetzt, daß der Eisendraht und der Kupferdraht gleiche Durchmesser haben und der Zwischenraum im Lichten zwischen ab und cd derselbe ist.

Wenn also der Leitungswiderstand der gesammten Nebenschließung nur unverändert bleibt, so ist es für die Stärke des Nebenstromes ganz gleichgültig, ob ein besser oder ein schlechter leitendes Drahtstück der Einwirkung des Hauptdrahtes ausgesetzt ist.

Es war mir nicht möglich, die Anordnung der hierher gehörigen Versuche aus der Beschreibung (P. A. 50. 3) vollständig zu verstehen.

61 **Abnahme des Nebenſtromes nach der Entfernung vom Hauptdraht.** Um zu ermitteln, wie die Einwirkung auf den Nebendraht mit der Entfernung vom Hauptdrahte abnimmt, müſſen die parallel laufenden Stücke eine größere Länge haben, weil ſonſt bei etwas großen Entfernungen die Erwärmung im Nebendrahte zu gering ausfällt.

Rieß (P. A. 50. 7) ſpannte zwei 10′ 6″ lange Kupferdrähte parallel aus. Der eine wurde durch 6 Fuß lange Kupferdrähte in den Schließungsbogen der Batterie eingeſchaltet, die Enden des andern wurden durch ähnliche Drähte mit dem Platindraht des Thermometers verbunden. Wenn die Axenentfernung der parallelen Drahtſtücke geändert wurde, ſo ergab ſich aus den Angaben des Thermometers, daß der von dem gerade ausgeſpannten Theile des Schließungsdrahtes der Batterie in dem parallelen Drahte erregte Strom in dem Verhältniſſe abnimmt, in welchem die Axenentfernung der Drähte wächſt, vorausgeſetzt, daß man nicht von einer zu geringen Entfernung der Drähte ausgeht; wenn man nämlich die Drähte über eine gewiſſe Gränze nähert, ſo nehmen die Erwärmungen in geringerm Verhältniß zu, als die Entfernungen abnehmen.

Um einigermaßen bedeutende Erwärmungen durch den Nebenſtrom zu erlangen, muß man mit großen Drahtlängen operiren, deren Handhabung ſehr unbequem iſt, wenn ſie gerade ausgeſpannt ſeyn ſollen. Es iſt daher, wo man nur die Erregung eines intenſiven Nebenſtromes beabſichtigt, bei weitem vorzuziehen, die Drähte in flache Spirale aufzuwinden, wie dieß ſchon oben S. 144 beſchrieben wurde.

Der Strom, der von der Hauptſpirale in der Nebenſpirale erregt wird, iſt deſto ſchwächer, je weiter die Spiralen von einander entfernt ſind, aber man begreift leicht, daß zwiſchen der Stärke des Stromes und der Entfernung der Spiralen kein einfaches Verhältniß ſtattfinden kann, denn irgend ein Bogenſtück der Hauptſpirale erregt nicht allein in dem zunächſtliegenden nach derſelben Seite gekrümmten Stücke der Nebenſpirale einen Strom, ſondern auch in entfernteren entgegengeſetzt gekrümmten Stücken; letzterer iſt zwar ſchwächer, aber er wirkt dem erſteren entgegen und vermindert ſeine Wirkung. Offenbar aber ändert ſich das Verhältniß der beiden entgegengeſetzten Ströme in der Nebenſpirale, wenn die Entfernung der Spiralen geändert wird. Wenn man von ganz geringen Entfernungen der beiden Spiralen ausgeht, ſo nimmt die Stärke des Nebenſtromes anfangs weit langſamer, bei größerer Entfernung aber weit raſcher ab, als die Entfernung der Spiralen.

62 **Einwirkung von nebenſtehenden geſchloſſenen Leitern auf die Erregung des Nebenſtromes.** Auf dem Boden eines Zimmers ſpannte Rieß (P. A. 50. 12) drei 0,55‴ dicke Kupferdrähte in einer Länge von

10′ 6″ parallel neben einander aus. Dieſe Drähte ſeyen der Ordnung nach mit *A*, *B* und *C* bezeichnet; die Axenentfernung von *A* und *B* betrug 4,45‴, die von *B* und *C* 2,35‴.

Der Draht *A* wurde in den Schließungsbogen der Batterie eingeſchaltet; von den Enden des Drahtes *C* führten 6′ lange Kupferdrähte zum Thermometer, ſo daß alſo der Thermometer in den Nebendraht *C* ſchloß. Als *B* ganz weggenommen wurde, ergab ſich für die Einheit der Ladung eine Erwärmung 0,135 im Thermometer. Als der Draht *B* wieder an ſeine Stelle gelegt wurde, ergab ſich faſt ganz genau dieſelbe Erwärmung, als aber die Enden von *B* durch einen 14 Fuß langen Kupferdraht verbunden wurden, wurde die Erwärmung nur 0,094 gefunden. Es folgt hieraus:

Der vom Schließungsdrahte der Batterie in einem Nebendrahte erregte Strom bleibt unverändert, wenn zwiſchen beiden Drähten ein Draht mit freien Enden liegt, der Strom wird aber vermindert, wenn der Zwiſchendraht in ſich geſchloſſen iſt.

Es iſt nicht gerade nöthig, daß der Draht *B* zwiſchen *A* und *C* liege, damit er den Strom in *C* ſchwächt, welcher durch den Entladungsſtrom erzeugt wird, der den Draht *A* durchläuft. *B* könnte jenſeits *C* oder jenſeits *A* liegen, ſo wird der durch den Hauptſtrom *A* im Nebendraht *C* erzeugte Nebenſtrom ſtets ſchwächer ſeyn, wenn *B* geſchloſſen iſt, wenn alſo auch in *B* ein Nebenſtrom entſteht, als wenn dies nicht der Fall iſt. Wenn alſo der Hauptdraht der Batterie in zwei einander nahe ſtehenden Nebendrähten elektriſche Ströme erregt, ſo iſt jeder der beiden Nebenſtröme ſchwächer, als wenn der andere nicht vorhanden wäre

Zwei Spiralſcheiben von 6 Zoll Durchmeſſer, jede aus 13 Fuß 0,55 Linien dickem Kupferdraht gebildet, wurden 10‴ von einander entfernt aufgeſtellt. Das Thermometer der Nebenſpirale zeigte eine bedeutende Erwärmung (42 Scalentheile), als durch die Hauptſpirale die in 4 Flaſchen angehäufte Elektricitätsmenge 20 entladen wurde. Als aber unter ſonſt gleichen Umſtänden dieſelbe Elektricitätsmenge entladen wurde, während eine Kupferſcheibe von 6″ 10‴ Durchmeſſer und 0,33‴ Dicke zwiſchen beiden Spiralen aufgeſtellt war, zeigte das Thermometer der Nebenſpirale keine merkliche Erwärmung.

Dieſer bedeutende Effect der Kupferſcheibe hing offenbar von der guten Leitung ab, welche ſie dem Strom gewährte.

Soll die Zwiſchenſcheibe noch eine merkliche Erwärmung in der Nebenſpirale beſtehen laſſen, ſo muß ſie ſchlechter leiten. In dem Maaße, als

die Leitungsfähigkeit der Zwiſchenplatte abnimmt, wächſt der Strom in der Nebenſpirale.

Als Zwiſchenſcheibe wurde der Reihe nach angewandt 1) ein 0,01‴ dickes Stanniolblatt; 2) ein ſolches von 0,0168‴ Dicke; 3) beide zuſammen; 4) ein Blatt unächten Silberpapiers. Dieſe Blätter waren ſtets zwiſchen Glasplatten geklemmt, 1‴ weit von der Hauptſpirale aufgeſtellt worden; als die beiden Spiralen 2½‴ weit von einander abſtanden, ergaben ſich folgende Erwärmungen in der Nebenſpirale für die Einheit der Ladung:

Ohne Zwiſchenſcheibe	0,66
Zwiſchenſcheibe: unächtes Silberpapier .	0,57
» » dünnes Stanniolblatt .	0,087
» » dickes Stanniolblatt .	0,056
» » beide Stanniolblätter .	0,034

Vergleicht man die drei zuletzt angegebenen Erwärmungen mit den entſprechenden Dicken der eingeſchalteten Stanniolblätter, ſo ergiebt ſich, daß die Stromſtärke im Nebendrahte der Dicke der eingeſchobenen Metallſcheibe umgekehrt proportional iſt.

Daſſelbe Reſultat erhielt man, als die Verſuche in gleicher Weiſe bei größerer Entfernung wiederholt wurden.

63 **Wirkung iſolirender Zwiſchenplatten auf die Bildung des Nebenſtromes.** Faraday hat bei der in Ruhe befindlichen Elektricität den verſchiedenen Iſolatoren ein ſpecifiſches Vertheilungsvermögen zugeſchrieben, ſo daß durch eine Glas- und Schellackplatte hindurch die Vertheilung weit ſtärker ſey, als durch Luft.

Man kann nun die Entſtehung des Nebenſtromes nicht gut anders, als durch eine Elektricitätserregung durch Vertheilung erklären, und dürfte daher einen Strom von verſchiedener Stärke erwarten, je nachdem zwiſchen die Haupt- und Nebenſpirale Scheiben von verſchiedenen iſolirenden Subſtanzen eingeſchaltet werden.

Da die feſten Iſolatoren ein größeres ſpecifiſches Vertheilungsvermögen beſitzen ſollen, als Luft, ſo würde ſich mit Hülfe des Nebenſtromes eine ſcharfe Grenze zwiſchen feſten Leitern und Iſolatoren der Elektricität ziehen laſſen. Während nämlich die Leiter als Zwiſchenplatten angewandt den durch Luft vermittelten Nebenſtrom verringern, müßten die Iſolatoren, als Zwiſchenplatten angewandt, denſelben verſtärken.

Rieß hat trotz ſorgfältiger Unterſuchung eine ſolche Verſtärkung des Nebenſtromes durch Einſchiebung iſolirender Zwiſchenplatten, als Glas, Schellack u. ſ. w. nicht finden können. Die Anwendung dieſer iſolirenden Zwiſchenplatten änderte nichts in der Stärke des Nebenſtromes, welche

genau eben ſo groß gefunden wurde, als ob ſich blos Luft zwiſchen den Spiralen befunden hätte. (P. A. 50. 18.)

Wirkung des Schließungsdrahtes der Batterie auf ſich ſelbſt. 64
In einem Drahte mit freien Enden kann, wie wir geſehen haben, durch Vertheilung kein elektriſcher Strom erregt werden. Der Schließungsdraht der elektriſchen Batterie iſt nun ein ſolcher Draht; da aber hier der Umſtand eintritt, daß ſeine freien Enden in ausgedehnte Metallflächen verlaufen, welche die Anhäufung entgegengeſetzter Elektricitäten geſtatten, ſo iſt es doch nöthig, experimentell zu unterſuchen, ob nicht ein Theil des Schließungsdrahtes auf einen andern Theil deſſelben vertheilend wirken könne.

Rieß ſuchte die Frage auf folgende Weiſe zu löſen (P. A. 50. 19).

Die beiden Spiralen, von denen der eine bisher als Haupt-, der andere als Nebenſpirale gedient hatte, wurden in geringer Entfernung einander gegenüber geſtellt und ſie dann ſo verbunden, daß ſie eine einzige Drahtleitung bildeten, ſo alſo, daß in dem Schließungsbogen der Batterie eingeſchaltet, der Entladungsſtrom durch den einen und durch den anderen gehen mußte.

Einmal wurde das Randende der einen Spirale mit dem Centrumende der anderen durch einen Kupferdraht verbunden, ſo daß wenn der Entladungsſtrom in der einen Spirale von der Mitte zum Rande lief, er auch in der anderen von der Mitte zum Rande laufen mußte, daß alſo der Entladungsſtrom die beiden Spirale in gleicher Richtung durchlief.

Dann wurde das Randende der einen Spirale mit dem Randende der anderen leitend verbunden, ſo daß der Strom, den der eine von der Mitte zum Rande durchläuft in der zweiten Spirale vom Rande zur Mitte geht, daß alſo der Entladungsſtrom die beiden Spiralen in entgegengeſetzter Richtung durchläuft.

Wenn nun ein Theil des Schließungsbogens auf den anderen eine Einwirkung ausüben kann, ſo muß im erſten Fall jede Spirale in der anderen einen mit dem Hauptſtrom gleich gerichteten, bei der letzten Verbindungsweiſe der Spirale aber einen dem Hauptſtrom entgegengeſetzten Strom erzeugen; im letzteren Falle müßte alſo caeteris paribus die Stromſtärke ſchwächer ausfallen als im erſten.

Würde nun außer den combinirten Spiralen noch das Thermometer in den Schließungsbogen eingeſchaltet, ſo zeigte es unter ſonſt gleichen Umſtänden völlig gleiche Erwärmung, mogten nun die Spiralen auf die eine oder andere Weiſe verbunden ſeyn, woraus folgt, daß bei der Entladung der Batterie kein Theil des Schließungsdrahtes vertheilend auf den anderen wirkt.

65 **Verzögerung der elektriſchen Entladung durch Leiter, welche dem Schließungsdrahte der Batterie nahe ſtehen.** Rieß ſchaltete (P. A. 49. 393) in den Schließungsbogen der Batterie außer dem Luftthermometer noch einen 13′ langen, 0,55 Linien dicken Kupferdraht ein, der auf einer mit ſchwarzem Pech überzogenen, auf einem Glasfuße ſtehenden Holzſcheibe von 6″ Durchmeſſer zu einer flachen Spirale gewunden war, in der Weiſe, wie es bei dem Fig. 61 dargeſtellten Apparat der Fall iſt. Eine mit dem ſo eingerichteten Schließungsbogen gemachte Verſuchsreihe gab

$$h = 0{,}43\,\frac{q^2}{s}.$$

Nun wurde parallel mit der Hauptſpirale $2\frac{1}{2}'''$ von ihr entfernt eine Kupferſcheibe von 6″ 10‴ Durchmeſſer uud 0,33‴ Dicke aufgeſtellt, und es ergab ſich

$$h = 0{,}41\,\frac{q^2}{s}.$$

Endlich wurde parallel mit der Hauptſpirale eine ihr ganz gleiche Nebenſpirale aufgeſtellt, deren Enden in vollkommener metalliſcher Verbindung waren, und es ergab ſich

$$h = 0{,}42\,\frac{q^2}{s}.$$

Alſo weder die Kupferſcheibe, noch die Nebenſpirale übten einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung im Schließungsbogen aus.

Statt der vollkommenen metalliſchen Schließung wurde nun an der Nebenſpirale eine unvollkommene angebracht, d. h. die Enden der Kupferſpirale wurden durch einen Platindraht von 138‴ Länge und 0,023‴ Radius geſchloſſen. Als die ſo geſchloſſene Nebenſpirale 5‴ weit von der Hauptſpirale aufgeſtellt wurde, ergab ſich

$$h = 0{,}32\,\frac{q^2}{s},$$

als ſie aber nur $2\frac{1}{2}'''$ weit von der Hauptſpirale entfernt war, ergab ſich

$$h = 0{,}27\,\frac{q^2}{s}$$

Die Nebenſpirale durch einen 460‴ langen und $\frac{1}{12}'''$ dicken Draht von Neuſilber geſchloſſen und $2\frac{1}{2}$ Linien von der Hauptſpirale entfernt aufgeſtellt, gab

$$h = 0{,}17\,\frac{q^2}{s}.$$

Die Nebenſpirale durch eine mit Waſſer gefüllte Glasröhre von 9 Zoll Länge geſchloſſen, gab

$$h = 0{,}39\,\frac{q^2}{s}.$$

Wir wollen nun dieſe Reſultate einer etwas näheren Betrachtung unterwerfen.

Der Strom in den Schließungsbogen erregt, wie wir ſchon oben geſehen haben, einen Strom, ſowohl in der nahe geſtellten Kupferſcheibe als auch in der Nebenſpirale, der Strom in der Nebenſpirale kann aber in der Hauptſpirale keinen Strom induciren, weil dieſe nicht metalliſch geſchloſſen iſt (die beiden Belegungen der Flaſche ſind ja durch Glas getrennt), die einzig mögliche Einwirkung des Stromes in der Nebenſpirale auf den Strom in der Hauptſpirale iſt die, daß er etwa eine Verzögerung des Entladungsſtromes bewirkt.

Wenn nun die Schließung der Nebenſpirale vollkommener iſt, als die der Hauptſpirale, ſo wird auch der Strom der Nebenſpirale raſcher verlaufen als der der Hauptſpirale, und deshalb kann keine Rückwirkung von der Nebenſpirale auf die Hauptſpirale ſtattfinden, daher denn auch bei guter Schließung der Nebenſpirale die Erwärmung im Schließungsbogen nur unbedeutend geringer gefunden wurden, als wenn gar keine Nebenſpirale vorhanden geweſen wäre.

Bei unvollkommen metalliſcher Schließung der Nebenſpirale, iſt der Nebenſtrom von längerer Dauer, der Entladungsſtrom im Hauptdraht findet alſo während ſeiner ganzen Dauer den Nebendraht von einem gleichgerichteten Strom durchlaufen, und wir müſſen annehmen, daß dies die Urſache der Verzögerung des Hauptſtroms iſt, welche ſich durch die verringerte Erwärmung kund giebt; durch unvollkommene Schließung der Nebenſpirale wurde ja die Erwärmung im Hauptſtrom im Verhältniß von 0,43 bis zu 0,17 herabgebracht.

Bei Einſchaltung der Waſſerröhre in der Schließung der Nebenſpirale wird die Erwärmung im Hauptdraht wieder größer, ja faſt ſo groß, als ob gar keine Nebenſpirale dageweſen wäre, was ſich ſehr gut dadurch erklärt, daß bei ſehr ſchlechter Schließung der Nebenſpirale kein merklicher Nebenſtrom erregt wird.

Der Umſtand, daß bei ganz vollkommener ſowohl, als auch bei ganz ſchlechter Schließung der Nebenſpirale die Wirkung auf den Hauptdraht geringer iſt, als für eine mittelmäßig gute Schließung, läßt erwarten, daß, wenn man die Nebenſpirale durch längere und immer längere dünne Drähte ſchließt, daß alsdann anfangs die Erwärmung im Schließungsbogen der Hauptſpirale abnimmt, daß bei einer beſtimmten Länge des eingeſchalteten Drahtes die Wirkung der Nebenſpirale ein Maximum wird, daß ſie wieder abnimmt, daß alſo die Erwärmung im Schließungsbogen die Hauptſpirale wieder zunimmt, wenn man den Draht, durch welchen die Nebenſpirale geſchloſſen iſt, nun noch mehr verlängert.

Dies wird durch Verſuche beſtätigt, welche Rieß angeſtellt hat (P. A.

51. 177). Bezeichnen wir durch 100 die Erwärmung, welche an dem Thermometer beobachtet wurde, welches in den Schließungsbogen der Hauptſpirale eingeſchaltet iſt, wenn die Nebenſpirale durch einen kurzen dicken Kupferdraht geſchloſſen war, ſo ergab ſich:

Bei Einſchaltung von 0,1577‴ dickem Neuſilberdraht, deſſen Länge betrug	eine Erwärmung.
4,8′	70
9,8	55
19,7	52
29,6	48
39,4	52
88,7	61
138	66
286	76
582	87
Nebenſpirale offen	100.

Man ſieht aus dieſer Tabelle, wie bei zunehmender Länge des in die Schließung der Nebenſpirale eingeſchalteten Neuſilberdrahtes anfangs die Erwärmung des Thermometers in der Schließung der Hauptſpirale ſehr raſch abnimmt, daß ſie ein Minimum wird, wenn die Länge des eingeſchalteten Neuſilberdrahtes 29,6 pariſer Fuß beträgt, für welchen Fall die Erwärmung nur noch 48 Procent von der beträgt, welche bei vollkommener Schließung der Nebenſpirale beobachtet wird. Wächſt die Länge des eingeſchalteten Drahtes über 29,6 hinaus, ſo nimmt die Erwärmung allmälig wieder zu; durch eine Verlängerung des Neuſilberdrahtes bis auf 582 Fuß ſteigt die Erwärmung wieder bis auf 87 Procent der urſprünglichen.

Ein neben dem Schließungsdraht der elektriſchen Batterie befindlicher metalliſch geſchloſſener Draht, wirkt alſo nach Maaßgabe ſeiner Schließung auf die Batterieentladung verzögernd ein. Wird die Schließung des Nebendrahtes progreſſiv verlängert, ſo nimmt die Einwirkung deſſelben zu, erreicht ein Maximum und nimmt von dort fortwährend wieder ab.

Die Veränderungen, welche die Erwärmung im Hauptdrahte durch die Verlängerung des Nebendrahtes erleidet, befolgen das in der letzten Tabelle angeführte Geſetz, mag nun die Ladung der Batterie ſtärker oder ſchwächer ſeyn, bei ſtärkerer Ladung ſowohl wie bei ſchwächerer iſt die verzögernde Wirkung des Nebendrahtes ein Maximum, wenn die Nebenſpirale durch 29,6 Fuß des erwähnten Neuſilberdrahtes geſchloſſen iſt; die Erwärmung im Hauptdraht iſt in dieſem Fall 48 Procent von der, welche

man bei gleicher Ladung beobachter haben würde, wenn die Nebenſpirale vollkommen metalliſch geſchloſſen geweſen wäre; ſobald aber der Schließungsbogen des Hauptdrahtes durch Einſchaltung eines dünnen Drahtes verlängert wird, ändert ſich der Gang der verzögernden Wirkung des Nebendrahtes.

In der Hauptſchließung wurde ein Platindraht von 7″ 5‴ Länge und 0,023‴ Radius eingeſchaltet, und nun ergaben ſich die in folgender Tabelle zuſammengeſtellten Reſultate.

Nebenſpirale geſchloſſen durch Neuſilberdraht von der Länge	Erwärmung im Hauptdraht
0′	100
29,6	82
49,3	78
69	78
237	91
572	99.

Wie man ſieht, findet jetzt bei verlängerter Hauptſchließung das Maximum der Wirkung des Nebendrahtes erſt bei einer größeren Länge der Einſchaltung in die Nebenſpirale Statt, außerdem aber iſt die verzögernde Wirkung des Nebendrahtes jetzt viel geringer. Während bei der früheren Verſuchsreihe die Erwärmung im Hauptdrahte durch das Maximum der Wirkung der Nebenſpirale auf 48 Procent heradgebracht wurde, bewirkt jetzt das Maximum der Wirkung der Nebenſpirale nur eine Reduction auf 78 Procent derjenigen Erwärmung, welche man ohne Nebenſpirale, oder bei ganz vollkommener Schließung derſelben beobachtet haben würde.

Es iſt dies leicht zu erklären. Es wird ein um ſo ſtärkerer Nebenſtrom erregt, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt, und dem ſtärkeren Nebenſtrome müſſen wir auch eine ſtärkere Rückwirkung auf die Entladung zugeſtehn. In beiden Verſuchsreihen war es dieſelbe Länge des Hauptdrahtes, nämlich eine Länge von 13 Fuß Kupferdraht, welche auf eine gleiche Länge des Nebendrahtes einwirkte. Bei der erſten Verſuchsreihe machen dieſe 13′, bei weiten den größten Theil des Schließungsbogens der Batterie aus, bei der zweiten Verſuchsreihe war aber ein Platindraht eingeſchaltet, deſſen Verzögerungskraft gleich iſt der eines 568 Fuß langen, 0,55‴ dicken Kupferdrahtes, in dem letzten Falle wirkte alſo ungefähr nur der 44ſte Theil der Geſammtlänge des Hauptdrahtes auf die Nebenſpirale.

Rieß ließ noch zwei Spiralſcheiben machen, deren jede 53½ Fuß Ku-

pferdraht von $^2/_3$ Linie Dicke enthielt. In die Hauptſchließung wurde die große und die kleine Spirale eingeſchaltet.

War nun der kleinen Hauptſpirale die kleine Nebenſpirale in 2 Linien Entfernung gegenüber geſtellt, ſo fand das Maximum der verzögernden Wirkung der Nebenſpirale Statt, als ſie durch 29,6′ Neuſilberdraht geſchloſſen war. Bei dieſem Maximum der Wirkung der Nebenſpirale war die Erwärmung in der Hauptſchließung noch 76 Procent von derjenigen, welche man ohne Nebenſpirale oder bei vollkommner Schließung derſelben beobachtete.

Als die große Nebenſpirale der großen Hauptſpirale in 2 Linien Entfernung gegenüberſtand, fand das Maximum der verzögernden Wirkung des Nebendrahtes Statt, als derſelbe durch 79 Fuß Neuſilberdraht geſchloſſen war, und bei dieſer Schließung wurde die Erwärmung im Hauptdraht durch die verzögernde Wirkung der Nebenſpirale bis auf 25 Procent herabgebracht.

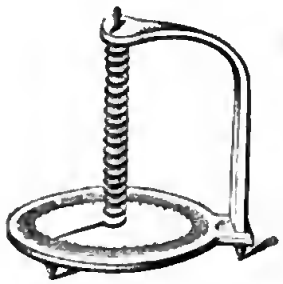
Endlich wurden die beiden Nebenſpiralen gehörig verbunden den beiden Hauptſpiralen gegenüber geſtellt, und nun mußten 138 Fuß Neuſilberdraht in die Nebenſchließung eingeſchaltet werden, um das Maximum der verzögernden Wirkung zu erhalten, und dabei die Erwärmung im Hauptdraht auf 20 Procent derjenigen herabgebracht, die man ohne Nebenſpirale beobachtet haben würde. Es folgt aus dieſen Verſuchen:

Das Maximum der Wirkung eines Nebendrahtes auf die elektriſche Entladung, welches durch Verlängerung der Nebenſchließung erreicht wird, iſt ein deſto größeres, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt. Zugleich iſt aber auch zur Erreichung dieſes Maximums eine um ſo längere Schließung des Nebendrahtes erforderlich.

Die Länge des Platindrahtes im Luftthermometer betrug bei dieſen Verſuchen 143,5 Linien. Der Platindraht im Thermometer, welcher ſehr lang iſt im Verhältniß zur ganzen Schließung, kann aber niemals vertheilend auf den Nebendraht wirken; um zu machen, daß ein möglichſt großer Theil des Hauptdrahtes auf die Nebenſpirale wirkt, müßte man den Draht im Thermometer verkürzen, wodurch allerdings die Wirkung des Hauptdrahtes auf den Nebendraht vermehrt, dagegen aber auch die Empfindlichkeit des Thermometers vermindert wird. Rieß wandte nun, um den Platindraht, welcher die Hauptſpirale ſchließt, mehr verkürzen zu können, ſtatt des Luftthermometers ein Berguet'ſches Metallthermometer an.

In der Axe einer empfindlichen thermometriſchen Spirale, ähnlich der in Fig. 63 abgebildeten, wurde ein gradliniger Platindraht von 61,5 Li-

Fig. 63.



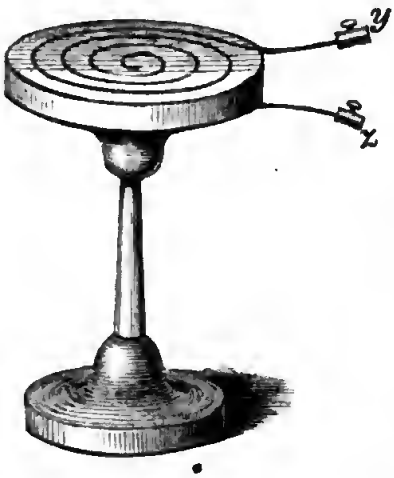
nien Länge und 0,04‴ Radius unverrückbar befestigt, und auf zweckmäßige Weise in den Schließungsbogen eingeschaltet. Das Instrument wird natürlich unter eine Glasglocke gestellt. Durch eine Batterieentladung wird der Platindraht in der Axe der Spirale erwärmt, er theilt diesen seine Wärme mit, der Zeiger durchläuft eine Anzahl Grade, kehrt aber sogleich wieder auf seinen früheren Stand zurück, weil die Abkühlung wegen des großen Volumens der Luft unter der Glocke rasch erfolgt.

Die Versuche mit dem Metallthermometer lehren nichts neues, ich glaube sie deßhalb nicht weiter anführen zu müssen, dagegen glaubte ich diese Beobachtungsmethode nicht unerwähnt lassen zu dürfen.

Richtung des elektrischen Nebenstromes. Um zu untersuchen, ob 66
die Richtung des Nebenstromes sich mit der Entfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht ändern, wandte Rieß folgende Methode an. (P. A. 51. 351.)

Bringt man zwischen den freien Enden der Nebenspirale einen Isolator an, welcher von der Elektricität nicht durchbrochen wird, so entsteht kein Nebenstrom. Nichtsdestoweniger ist das elektrische Gleichgewicht des Nebendrahtes durch den Act, welcher den Nebenstrom einleitet, zerstört worden, wie sich durch folgenden Versuch zeigen läßt.

Fig. 64.



Bringt man zwischen die freien Enden der Nebenspirale eine dünne Harzscheibe, so daß die beiden Drahtenden auf den entgegengesetzten Flächen einander gegenüberstehen, so zeigen sich nach der Entladung der Batterie durch den Hauptdraht die beiden Flächen der Harzscheibe auf das bestimmteste unterschieden. Es sind auf derselben eigenthümliche elektrische Figuren entstanden, zu deren Erkennung in den meisten Fällen ein leichtes Anhauchen der Fläche hinreicht. Will man die Figuren fixiren, so geschieht dies, wie es Lichtenberg gelehrt hat, durch Bepuderung derselben mit einem Gemenge von Schwefelblumen und Mennige. Auf der einen Fläche der Harzplatte entsteht hierdurch eine rothe Scheibe mit rother Kreiseinfassung, auf welcher ein dunkler (nicht bestäubter) Ring folgt, von welchem gelbe

Strahlen ausgehen. — Auf der anderen Fläche ſind gelbe und rothe Kreisſegmente ſichtbar, die von einem breiten rothen Ring eingefaßt ſind.

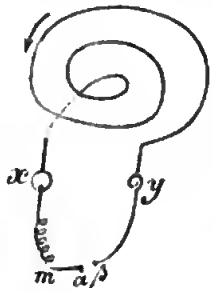
Fig. 65 Fig. 66.

Die Strahlen und der Ring nehmen mit der Stärke der elektriſchen Erregung zu; nur bei ſehr ſchwacher Erregung fehlen die Strahlen der erſten Figur, und eine einfache rothe Scheibe bleibt übrig, die indeß hinlänglich von der zweiten Figur unterſchieden iſt, in welcher ſtets der rothe Ring erkennbar bleibt.

Jede dieſer Figuren iſt aus den beiden Grundformen zuſammengeſetzt, die Lichtenberg als poſitive und negative unterſchieden hat, man kann deshalb aus dieſen Figuren noch nicht auf die Richtung des Nebenſtromes ſchließen.

Bei den folgenden Verſuchen waren die Enden der Nebenſpirale durch Kupferdrähte verlängert, von welchen der eine zum Theil eine kurze, eng rechtsgewundene Schraube bildete. In Fig. 67 mögen x und y die Enden der Nebenſpirale bezeichnen, an welchen die erwähnten Drähte anſitzen. Sollte eine Stahlnadel magnetiſirt werden, ſo wurden die Drahtenden α und β metalliſch verbunden, und eine Stahlnadel in die Schraube bei m eingelegt; um die Figuren auf der Harzſcheibe zu erhalten, wurden dieſelben zwiſchen α und β eingeſchaltet. Die in der folgenden Tabelle erhaltenen Reſultate wurden mit der eben erwähnten kleinen (aus 13 Fuß Kupferdraht beſtehenden) Haupt- und Nebenſpirale angeſtellt.

Fig. 67.



In der Hauptſpirale ging der Entladungsſtrom in der durch den Pfeil bezeichneten Richtung durch. Die folgende Tabelle zeigt nun, was für eine magnetiſche Polarität das Nadelende zeigte, als die Nadel in der Drahtſchraube lag, und nach m gekehrt war.

Zwiſchen beiden Spiralen war eine Glastafel eingeſchaltet.

Entfernung der Spiralen	Hauptdraht	Elektricitätsmenge	Polarität bei m
1‴		5	*N*
1		10	*N*
1	verlängert	10	*S*
1		30	*N*
1	verlängert	30	*S*
25		30	*N*
25	verlängert	30	*S*
39,5		30	*S*

Man ſieht, daß bei gleicher Richtung des Hauptſtromes der Magnetismus der Nadel doch mit den übrigen Umſtänden wechſelte, woraus man eben auf eine verſchiedene Richtung des Nebenſtromes ſchloß. Als aber zwiſchen α und β die Harzſcheibe eingeſchaltet wurde, ergab ſich, wenn die Entladung der Batterie durch die Hauptſpirale unter allen den in der Tabelle angegebenen Umſtänden wiederholt wurde, daß die Fig. 65 ſtets auf der dem Drahtende β zugekehrt geweſenen Seite der Harzſcheibe ſich bildete, ein Beweis, daß die Richtung des Nebenſtromes ſtets dieſelbe bleibt, wie auch der Magnetismus der Nadel ſich umkehren mag.

Zur Erzeugung der Figuren wandte Rieß eine kleine Glas- oder Kupferplatte an, welche auf beiden Seiten mit einem dünnen Ueberzug von ſchwarzem Pech oder Harz verſehen waren.

Eine ſchon gebrauchte Harzfläche muß über einer Weingeiſtflamme bis zum Schmelzen erhitzt werden, ehe ſie wieder angewendet werden kann.

Die Richtung des Nebenſtromes, welche, wie ſchon bemerkt, ſich nicht unmittelbar aus den Figuren auf der Harztafel beſtimmen läßt, wurde folgendermaßen ermittelt. Zwei dreizöllige Condenſatoren wurden durch eine dünne Glimmerplatte getrennt; die unteren mit dem Drahtende α berührt, dem oberen aber das Drahtende β genähert, ſo daß hier bei Entladung der Batterie ein kleiner bläulicher Funken überſpringt. Nachdem die Batterie durch die Hauptſpirale entladen worden war, wurde die obere Platte abgehoben und am Elektrometer geprüft. Bei poſitiver Ladung der Batterie wurde die von dem Drahtende β berührt geweſene Condenſatorplatte negativ elektriſch gefunden. Die Strahlenfigur, Fig. 65, iſt alſo ſtets von der mit negativer Elektricität geladenen Spitze erzeugt, und demnach hat alſo der Nebenſtrom ſtets gleiche Richtung mit dem Hauptſtrom.

Die Verſuche, welche Rieß machte, die Richtung des Nebenſtromes durch Zerſetzung von Jodkalium zu ermitteln, ſchlugen fehl; es gelang nicht, eine Zerſetzung durch den Nebenſtrom zu erhalten (P. A. 47. 74).

Ablenkung der Magnetnadel durch Reibungselektricität. Die 67
Windungen eines Multiplicators, welcher dazu dienen ſoll, durch einen Strom von Reibungselektricität eine Ablenkung der Magnetnadel hervorzubringen, müſſen ſehr gut iſolirt ſeyn. Rieß (P. A. 40. 348) conſtruirte einen ſolchen Multiplicator aus einem 105 Fuß langen, $\frac{1}{6}$''' dicken Kupferdraht, welcher dreifach mit Seide überſponnen und in 260 Windungen, die 5 Lagen bildeten, auf einen paſſenden Rahmen aufgewunden war. Bevor eine Drahtſtrecke aufgewunden wurde, wurde ſie erſt zweimal mit Schellackfirniß überſtrichen und dann die Aufwickelung vorgenommen, bevor noch der Firniß ganz trocken war. Jede Lage wurde noch einmal im Ganzen gefirnißt.

Die zugehörigen cylindriſchen, aſtatiſch combinirten Magnetnadeln waren 22,5‴ lang, 0,4 Linien dick und 5‴ von einander entfernt. Die combinirten Nadeln brauchten 6,6 Secunden zu einer Oscillation.

Wird das eine Drahtende eines ſolchen Multiplicators mit dem Conductor, das andere mit dem Reibzeug der Elektriſirmaſchine in leitende Verbindung geſetzt, ſo kann man beim Drehen derſelben eine Ablenkung von 10 bis 20 Grad erhalten.

Wenn durch den Entladungsſtrom der elektriſchen Batterie die Nadel abgelenkt werden ſoll, ſo muß man bekanntlich die Entladung durch Einſchaltung ſchlechter Leiter, feuchte Schnüre, mit Waſſer gefüllte Glasröhren u. ſ. w. verzögern.

Die neueſten Verſuche, welche Rieß über dieſen Gegenſtand anſtellte (P. A. 67. 535), ergaben das Reſultat, daß die Ablenkung einer Magnetnadel durch den Draht, welcher eine elektriſche Batterie langſam entladet, von der Oberfläche der Batterie unabhängig iſt, vorausgeſetzt, daß eine vollſtändige Entladung derſelben ſtattfindet; es iſt alſo für die Ablenkung der Nadel gleichgültig, ob dieſelbe Elektricitätsmenge auf eine oder mehrere Flaſchen vertheilt iſt.

Faraday hatte verſucht (Experimentalunterſuchungen, 363. P. A. 29), den Entladungsſtrom der Batterie mit dem eines Volta'ſchen Stromes zu vergleichen. Nachdem er durch eine Batterieentladung eine beſtimmte Ablenkung der Magnetnadel erhalten hatte, conſtruirte er ein Volta'ſches Element, welches, $3\frac{1}{3}$ Secunden wirkend, dieſelbe Ablenkung hervorbrachte, wie die Batterieentladung, und ſchloß, daß die von dem Element gelieferte Elektricitätsmenge der in der Batterie angehäuften gleich ſey.

Rieß macht, und zwar mit Recht, darauf aufmerkſam, daß dieſer Schluß wenig gerechtfertigt iſt, indem die momentane Wirkung des Entladungsſtromes der Batterie auf die Nadel weſentlich von der eines galvaniſchen Stromes verſchieden ſeyn muß.

Ich habe von den Rieß'ſchen Unterſuchungen berichtet, ohne den Gang der Darſtellung durch den Bericht über die Unterſuchungen zu unterbrechen, welche Andere über denſelben Gegenſtand anſtellten. Wenden wir uns jetzt zu dieſen Arbeiten.

68 **Knochenhauer's Arbeiten über den Nebenſtrom.** In einem zweiten Artikel, welcher ebenfalls die Ueberſchrift: »Verſuche über die gebundene Elektricität« führt (P. A. 58. 391), beſpricht Knochenhauer das Geſetz, nach welchem die Stärke des Nebenſtromes abnimmt, wenn die Entfernung des Hauptdrahtes wächſt.

Rieß hat, wie bereits Seite 150 angeführt wurde, gezeigt, daß die Stärke des Nebenſtromes in demſelben Verhältniß abnimmt, in welchem die Axenentfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht wächſt.

Knochenhauer meint, dies Geſetz ſey »augenſcheinlich unzureichend«. Wahrſcheinlich von der Idee ausgehend, daß der Nebenſtrom auch ein Phänomen der Bindung ſey, ſucht Knochenhauer ſein auf Seite 45 bereits angeführtes Geſetz auch hier in Anwendung zu bringen.

Daß ein Geſetz, zwiſchen Wirkung und Entfernung, welches für den Fall kugelförmiger Körper paßt, bei denen man alle Wirkung als von einem Punkte ausgehend betrachten kann, nicht zugleich für parallel nebeneinander herlaufende Drähte gelten könne, hindert Hrn. Knochenhauer nicht daran. — Sein Geſetz hat eine ſo bewundernswürdige Elaſticität, daß es durch bloße Veränderung der conſtanten Factoren auch für den Nebenſtrom paßt; nach ſeiner Meinung beſteht zwiſchen der Stärke des Nebenſtromes (durch den Lufttthermometer gemeſſen) und der Entfernung der Drähte ebenfalls die Beziehung

$$\Theta = A\, a^{\sqrt{n}},$$

wo Θ die Erwärmung des Thermometers im Nebendraht, n die Entfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht bezeichnet.

Dieſes n iſt aber nicht die Axenentfernung, ſondern die Entfernung der Drähte im lichten, wobei er als Einheit 3‴ annimmt, die Größe von n iſt alſo aus den von Rieß gegebenen Axenentfernungen d erſt zu berechnen.

Zunächſt vergleicht er ſeine Formel mit den von Rieß gefundenen Reſultaten. Die Reſultate einer Beobachtungsreihe von Rieß ſtellt er in der folgenden Tabelle mit den nach ſeiner Formel berechneten Werthen zuſammen.

d	Θ beobachtet.	d berechnet.	Differenz.
2,71‴	0,216	0,219	+ 0,003
6,78	0,145	0,143	— 0,002
11,24	0,119	0,104	— 0,015
16.01	0,081	0,079	— 0,002
19,61	0,066	0,066	0,000
23,87	0,054	0,055	+ 0,001

In der That ſtimmen die beobachteten und die nach obiger Formel berechneten Werthe ganz genügend, wenn man $A = 0{,}401$, $a = 0{,}4897$

ſetzt. Ja, die Formel ſtimmt auch noch für ganz geringe Entfernungen der Drähte, für welche aus begreiflichen Gründen das Rieß'ſche Geſetz nicht mehr gelten kann.

Spricht aber nicht dieſe wirklich genügende Uebereinſtimmung der Knochenhauer'ſchen Formel mit der Beobachtung für die Richtigkeit derſelben? Gewiß nicht. Wenn man über zwei Conſtante zu disponiren hat, ſo laſſen ſich mit Leichtigkeit eine ganze Maſſe Formeln auffinden, die daſſelbe leiſten, d. h. die ſich den wenigen und innerhalb ſo enger Grenzen beobachteten Zahlen ebenſo eng anſchließen. Als Beleg führe ich

$$\Theta = A + b \log d,$$

die erſte beſte willkürliche Formel an, die mir in den Sinn kam; in dieſer Formel ſollen Θ die Erwärmung im Nebendraht, d die Axenentfernung der Drähte bezeichnen. Setzt man hier $A = 0{,}276$, $b = 0{,}16$, ſo ſchließt ſich dieſe Formel den Rieß'ſchen Beobachtungen eben ſo gut an, wie den Knochenhauer'ſchen, wie man aus folgender Tabelle ſieht, in der die dritte Vertikalreihe die nach der Formel $\Theta = A + b \log. d$ berechneten Werthe enthält.

d	d beobachtet.	d berechnet.	Differenz.
2,71‴	0,210	0,207	— 0,003
6,78	0,145	0,143	— 0,002
11,24	0,119	0,107	— 0,012
16,01	0,081	0,084	+ 0,003
19,61	0,066	0,069	+ 0,003
23,87	0,054	0,056	— 0,002

Trotz dieſer Uebereinſtimmung zwiſchen Beobachtung und Rechnung kann aber dieſe Formel gewiß eben ſo wenig wie die Knochenhauer'ſche Anſpruch darauf machen, das Geſetz auszudrücken, nach welchem die Stärke des Nebenſtromes mit der Entfernung vom Hauptdraht abnimmt.

Knochenhauer hat ſelbſt eine Reihe von Verſuchen angeſtellt, welche ſeine Formel beſtätigen ſollen, und durch welche er zeigen will, daß die Größe des Factors a von der Leitungsfähigkeit der Hauptſchließung, der Nebenſchließung u. ſ. w. abhängt. Die Beſchreibung der Art und Weiſe, wie die Verſuche angeordnet, wie die Drähte geſpannt waren u. ſ. w., iſt höchſt undeutlich, und da ich die Unzuläſſigkeit der Knochenhauer'ſchen Formel nachgewieſen zu haben glaube, möchte wohl eine weitere Beſprechung dieſer Verſuche unnöthig ſeyn.

Dieſe Abhandlung bildet den Uebergang zu weiteren Unterſuchungen, die ſich mit dem Nebenſtrom und dem Strom in verzweigten Schließungsbogen beſchäftigen. Folgendes ſind die Titel der hierhergehörigen Abhandlungen:

Ueber den Nebenſtrom im getheilten Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 60—70 u. 235.

Ueber die elektriſchen Ströme im getheilten Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 61. 55.

Ueber die Schwächung des Hauptſtromes bei getheiltem Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 62. 353.

Ueber den Zuſammenhang der Formeln, welche die Wärmeentwickelung durch den elektriſchen und den galvaniſchen Strom beſtimmen. P. A. 62. 207.

Verſuche über den elektriſchen Nebenſtrom. P. A. 64. 64 und P. A. LXVI. 235.

Beſtimmung der compenſirten Drahtlängen ohne Luftthermometer. P. A. LXVII. 327.

Löſung des kürzlich über die Verzweigung galvaniſcher Ströme aufgeſtellten Problems für den Entladungsſtrom der elektriſchen Batterie. P. A. LXVIII. 136.

Ueber die Spannungsverhältniſſe beim Ladungsſtrom der elektriſchen Batterie. P. A. LXIX. 77.

Ueber den Vergleich der elektriſchen Formeln mit den galvaniſchen. P. A. LXIX. 421.

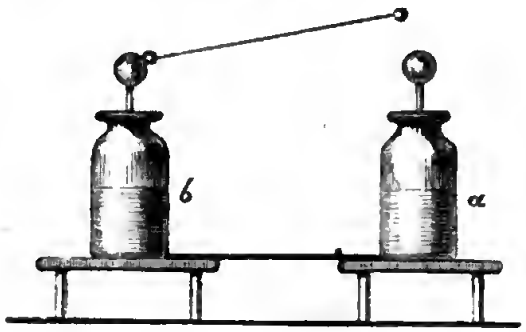
Die in dieſen Abhandlungen beſprochenen Verſuche ſind ſchlecht beſchrieben; die Betrachtungen, ſchwülſtig, verworren und voll ſchwerfälliger Formeln, führen nicht zu einfach klar und beſtimmt hingeſtellten Reſultaten.

Sollte in dem Chaos der erwähnten Abhandlungen wirklich ein entwickelungsfähiger Kern enthalten ſeyn, ſo wird ſich Herr Knochenhauer wohl entſchließen müſſen, ihn ſeiner nebelhaften Umgebung zu entrücken und beſſer ins Licht zu ſetzen, wenn er demſelben Anerkennung verſchaffen will.

Da es der Zweck dieſes Berichtes iſt, dem Leſer die Fortſchritte der Phyſik darzulegen, nicht aber ihn mit der Kritik unfruchtbarer Arbeiten zu beläſtigen, ſo glaube ich die Abhandlungen Knochenhauers über den Nebenſtrom und verwandte Gegenſtände nicht weiter beſprechen zu müſſen. Die Kritik der oben näher beſprochenen Abhandlungen wird genügen, mich in dieſer Beziehung zu rechtfertigen.

69 **Ladungsſtrom der elektriſchen Batterie.** In Fig. 68 ſtellen *a* und *b* zwei elektriſche Batterien dar, welche beide iſolirt ſind. Die äußeren Belegungen beider Batterien ſeyen in metalliſcher Verbindung, *a* ſey geladen, *b* ſey ungeladen.

Fig. 68.



Wenn nun irgend ein paſſender Auslader, welcher dem Knopfe der ungeladenen Flaſche *b* anliegt, dem Knopfe der geladenen Flaſche genähert wird, ſo wird ein Funken überſpringen, die Flaſche *a* wird theilweiſe entladen, ein Theil der (wie wir annehmen wollen, poſitiven) Elektricität, welche auf der inneren Belegung von *a* angehäuft war, ſtrömt unter Funkenbildung auf die innere Belegung von *b* über, während durch die leitende Verbindung der äußeren Belegungen eine entſprechende Menge negativer Elektricität ohne Funkenbildung von *a* nach *b* überſtrömt.

Auf dieſe Weiſe nun wird *a* theilweiſe entladen, *b* dagegen geladen; die Ladung von *b* iſt nicht wie bei gewöhnlicher Flaſchenladung eine allmälige, ſondern eine ſehr raſche. Dove nennt nun den Strom, welcher von der äußeren Belegung von *a* zur äußeren Belegung von *b* überſtrömend, letztere Batterie ladet, den Ladungsſtrom, und hat die Wirkungen dieſes Ladungsſtromes mit den Wirkungen des ſchon mehrfach unterſuchten Entladungsſtromes (Entladungsſchlages) verglichen. Er fand folgende Reſultate (P. A. LXIV. 81).

1) Induction. In den äußeren Verbindungsdraht wurde eine cylindriſche Inductionsſpirale eingeſchaltet, welche äußerlich von einer Nebenſpirale umgeben war. Die Wirkungen waren dieſelben, wie beim Entladungsſchlag.

2) Funken. Unterbricht man den äußeren Verbindungsdraht, ſo entſteht in dem Moment, in welchem der Funke am inneren Verbindungsdraht überſpringt, an der Unterbrechungsſtelle des äußeren ein weißglänzender ſchallender Funke. Schaltet man in den inneren Verbindungsdraht einen naſſen Faden ein, ſo nimmt der Funke hier eine rothgelbe Farbe an und tönt ſchwach; dieſelbe Veränderung zeigt ſich dann auch an der Unterbrechungsſtelle des äußeren Verbindungsdrahtes, in welchem kein naſſer Faden eingeſchaltet iſt.

Dove fand ferner, daß der Ladungsſtrom

3) galvanometriſche Wirkungen,

4) Magnetisiren des Stahls,
5) physiologische Wirkungen,
6) Durchbohren schlechter Leiter,
7) Erwärmung

in derselben Weise hervorbringt, wie den Entladungsstrom.

Die Nadel eines Galvanometers, welches in den Verbindungsdraht der äußeren Belegungen eingeschaltet ist, wird nicht afficirt, wenn die inneren Belegungen ohne eingeschalteten nassen Faden durch einen weißen schallenden Funken in metallische Verbindung treten, hingegen sehr deutlich, wenn in den Verbindungsdraht der inneren Belegungen ein nasser Faden eingeschaltet ist. Das Magnetisiren einer in einer Spirale enthaltenen Stahlnadel erfolgt im ersteren Falle (ohne Einschaltung) kräftig, im zweiten Falle (mit Einschaltung) sehr schwach.

Den Inhalt eines von Dove verfaßten Aufsatzes in Poggendorff's Annalen (LIV. 305), welcher den Titel führt: »Ueber die durch Magnetisiren des Eisens vermittelst Reibungselektricität inducirten Ströme,« kann erst später berichtet werden, weil dieser Gegenstand in zu inniger Beziehung mit später zu besprechenden Wirkungen des galvanischen Stromes steht.

Hankel's Untersuchungen über die Magnetisirung von Stahlnadeln durch den Entladungsfunken einer elektrischen Batterie. 70
Hankel hat zwei große Abhandlungen über diesen Gegenstand publicirt (P. A. LXV. 537., LXIX. 321). In der ersten bespricht er zunächst die Beobachtungen Savary's, und geht dann zur Beschreibung seiner eigenen Versuche über, aus denen sich folgende Resultate ergeben.

1) Wenn der Entladungsschlag durch eine Spirale geht, in welcher eine Stahlnadel liegt, so ist ein bestimmtes Minimum der Ladung nöthig, um überhaupt die Nadel zu magnetisiren; nennen wir die Polarität, welche sie durch den Entladungsschlag dieses Minimums annimmt, die normale, so wird bei allmälig verstärkten Entladungsschlägen die Nadel anomal magnetisch, bei noch stärkerer Ladung wieder normal u. s. w. — Die anomale Magnetisirung tritt nun erst bei um so stärkeren Ladungen der Batterie auf, je längere Drahtstücke man in den Schließungsbogen der Batterie einschaltet.

Als außer der Spirale selbst und den bei allen Versuchen gleichbleibenden Stücken des Schließungsbogens 34' Eisendraht von 0,1 Linien Dicke eingeschaltet war, ergab sich die anomale Magnetisirung bei einer Ladung 70 (gemessen durch Funken der Maßflasche), bei einer Einschaltung von 82 Fuß desselben Drahtes, bedurfte es dazu einer Ladung 120, bei einer Einschaltung von 154' einer Ladung 160.

2) Wenn bei gleichem Schließungsbogen einmal eine Batterie von mehr,

und dann eine von weniger Flaſchen angewendet wird, ſo bringt die Batterie von geringerer Flaſchenzahl die anomale Periode ſchon bei geringerer Ladung hervor.

Als 202 Fuß Eiſendraht in den Schließungsbogen eingeſchaltet waren, brachte ſchon eine Ladung 20 auf zwei Flaſchen eine anomale Magnetiſirung hervor, während man ſie bei Anwendung von 5 Flaſchen erſt bei einer Ladung 70 erhielt, und bei Anwendung von 9 Flaſchen ſelbſt die Elektricitätsmenge 230 noch keine anomale Magnetiſirung erzeugte.

Wenn man bei allmälig wachſenden Ladungen auch nicht immer die Abwechſelungen zwiſchen normaler und anomaler Magnetiſirung erhält, ſo fehlen deshalb dieſe Perioden nicht ganz, denn man beobachtet eine Zu- und Abnahme in der Stärke des normalen Magnetismus und die Minima der normalen Magnetiſirung entſprechen hier den anomalen Perioden.

Hankel wendet ſich nun zur Erklärung dieſer Erſcheinung, wobei er folgende Idee zu Grunde legt.

»Es iſt durch Faraday's Verſuche bekannt, daß ein Strom bei ſeiner »Entſtehung in einem nahe gelegenen Leiter einen Strom erregt, welcher »ihm entgegengeſetzt iſt, beim Verſchwinden dagegen einen zweiten, welcher »dem urſprünglichen gleichlaufend iſt. Beide Wirkungen muß auch der »elektriſche Funken auf eine in ſeiner Nähe befindliche Stahlnadel aus»üben. Da die Nadel ſenkrecht gegen ſeine Richtung liegt, ſo ſind die »Ebenen der in der Nadel erregten Ströme ebenfalls ſenkrecht auf die »Länge der Nadel, und die Magnetiſirung der Nadel wird gerade die ent»gegengeſetzte ſeyn, je nachdem wir ſie durch die Wirkung des Anfangens, »oder blos des Aufhörens des Funkens uns erzeugt denken. Nun folgen »aber die beiden Momente des Anfangs und des Endes beim elektriſchen »Funken ſo ſchnell auf einander, daß ihre Wirkungen geſondert nicht ge»meſſen werden können; es iſt alſo die Magnetiſirung das Reſultat dieſer »beiden Einflüſſe«.

Es iſt dies im weſentlichen die Grundidee, auf welche auch Wrede (Berzelius Jahresbericht, deutſch von Wöhler, 20ſter Jahrgang, S. 119.), die abwechſelnd normale und anomale Magnetiſiruug von Stahlnadeln durch den Entladungsſchlag, ſowohl im Haupt-, als auch in einem Nebendraht zurückzuführen verſucht hat.

Wie ſchon Rieß andeutet (Dove's Repertorium VI. 218) gehört dieſes Erklärungsprinzip vor der Hand doch nur noch in das Gebiet der Vermuthungen. Es iſt möglich, daß dies der naturgemäße Hergang der Magnetiſirung von Stahlnadeln durch den Entladungsſchlag ſey, aber keineswegs bewieſen.

Im ganzen klingt dies Erklärungsprinzip wohl ganz plauſibel, allein

die Ableitung der Einzelnheiten der Erſcheinung iſt keineswegs überzeugend, ſo weitläufig ſich auch Hankel darüber ausſpricht. Man wird dieſen Gegenſtand doch wohl noch als eine offen ſtehende Frage zu betrachten haben, und es wird deshalb wohl gerechtfertigt erſcheinen, wenn wir uns nicht länger dabei aufhalten.

Rieß ſpricht ſich an der angeführten Stelle von Dove's Repertorium dahin aus, daß es beſſer und für die Wiſſenſchaft förderlicher ſey, die Mangelhaftigkeit unſerer Kenntniſſe offen einzugeſtehen, als ſich mit halben Erklärungen zu behelfen und ihre Mängel zu bemänteln, und citirt hierbei eine Stelle aus Franklin's Briefen, welche jeden Naturforſcher wohl beherzigen ſollte; ſie heißt

»I find, a frank aknowledgment of one's ignorance is not only the easiest way to get rid of a difficulty, but the likeliest way to obtain information; I think it a honest policy«.

In der zweiten Abhandlung beſpricht Hankel folgende Punkte.

1) Die Anzahl und Größe der ſchon in der erſten Abhandlung erwähnten Magnetiſirungsperiode.

2) Die Einwirkung verſchiedener Spiralen.

3) Die Einwirkung des Schließungsdrahtes auf ſich ſelbſt.

4) Den Einfluß der Dicke der Nadeln.

5) Den Einfluß der Oberfläche der Batterie.

6) Die Aenderungen der Wechſel durch eingeſchaltete Widerſtände.

7) Einen beſonderen, von der Leitungsfähigkeit gänzlich verſchiedenen Einfluß einzelner Metalle.

Betrachten wir dieſe Punkte einzeln der Reihe nach.

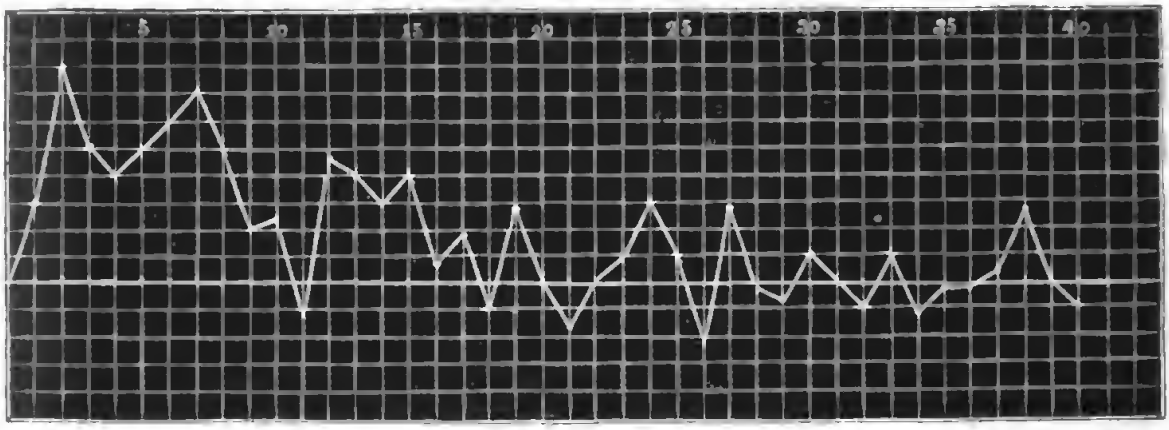
1) Als Magnetiſirungsſpirale wirkte eine Silberdrahtſpirale von ſo engen Windungen, daß die eingeſchobene Nadel 31 Windungen bedeckte. Die Ladung der Batterie wurde immer um 1 Funken der Maßflaſche vermehrt, und durch die Entladung derſelben immer eine neue Nadel magnetiſirt; die Stärke des ihr durch den Entladungsſchlag mitgetheilten Magnetismus wurde alsdann die Zeit ermittelt, welche die Nadel brauchte, um eine beſtimmte Anzahl Schwingungen zu machen. Außer der Spirale befand ſich noch 2,63 Meter eines 1,2966^{mm} dicken Kupferdrahtes in den Schließungsbogen.

Hankel machte auf dieſe Weiſe eine Verſuchsreihe, deren Reſultate in Fig. 69 (a. f. S.) graphiſch dargeſtellt ſind. Die Abſciſſen ſind der Stärke der Batterieladung, die Ordinaten der Stärke der entſprechenden Magnetiſirung proportional. Die Ordinaten über den Horizontalen 0 entſprechen normaler, die nach unten gerichteten Ordinaten anomaler Magnetiſirung

Dieſe Kurve macht nun keineswegs den Eindruck einiger Regelmäßigkeit,

vielmehr ſcheint ein etwaiges Geſetz ſehr durch Zufälligkeiten, deren man nicht Rechnung zu tragen im Stande iſt, maskirt zu ſeyn. In ſolchen

Fig. 69.



Fällen aber läßt ſich das Geſetz nur durch Mittelzahlen darſtellen, die aus zahlreichen Verſuchen abgeleitet ſind.

Hankel ſagt nun, er habe bei dieſer kürzeſten Drahteinſchaltung wiederholte Verſuche angeſtellt, um die Lage der anomalen oder der gleich bedeutenden ſchwach normalen Perioden zu beſtimmen und aus allen dieſen Verſuchen das Reſultat gewonnen, daß dieſelben für dieſelbe Nadelſorte, für die von ihm gebrauchte Batterie von 9 Flaſchen ſich bei den folgenden Ladungen finden.

3. 6. 9. 11. 14. 16. 18. 21. 23. 26.
29. 32. 36. 40.

Wenn nun Hankel ſagt, »man ſieht, daß dieſer Wechſel in der Polarität regelmäßig wiederkehre«, ſo muß ich geſtehen, daß ich in dieſer Zahlenreihe wenigſtens die Regelmäßigkeit eben noch nicht ſehr rein ausgeſprochen finde. Er ſagt zwar weiter: dieſe Regelmäßigkeit hätte ſich durch Einführung von Bruchwerthen noch ſchärfer darlegen laſſen, allein er habe dieſelbe abſichtlich vermieden, da er ſie nicht genau meſſen, ſondern nur hätte abſchätzen können.

Was ſoll das aber heißen; iſt denn die oben erwähnte Zahlenreihe nicht das Mittel aus mehreren unter denſelben Bedingungen angeſtellten Verſuchsreihen? Wenn aber dies der Fall iſt, warum Anſtand nehmen Bruchtheile einzuführen. Mittelwerthe ſind ja überhaupt nur berechnete, nicht beobachtete.

Um den Leſer es möglich zu machen, ſich ein Urtheil über den Werth der Reſultate zu bilden, hätte Hankel jedenfalls mittheilen ſollen, wie er zu der Zahlenreihe 3, 6, 9, 11 u. ſ. w. gekommen iſt, er hätte die einzelnen Verſuchsreihen mittheilen müſſen, damit man beurtheilen könne,

wie weit sich die einzelnen Versuchsreihen durch zufällige Störungen vom Mittel entfernen.

2. Die oben, Figur 69, graphisch dargestellte Versuchsreihe wurde nun mit zwei anderen verglichen, bei denen nur die Spirale in der Weise in die Länge gezogen war, daß die Länge der Nadel bei der zweiten nur 28, bei der dritten nur $11\frac{1}{2}$ Windungen bedeckte. Es ergab sich im Allgemeinen, daß sich die Perioden in dem Maaße verlängern, als die Nadel weniger Windungen bedeckt.

3. Wie wir oben gesehen haben, hat Rieß den Satz aufgestellt, daß bei der Entladung der Batterie kein Theil des Schließungsdrahtes vertheilend auf den andern wirkt. — Hankel bestreitet diesen Satz. Er schließt das Gegentheil aus folgenden Versuchen.

Eine Kupferspirale von etwas großem Durchmesser war von einer ähnlichen Spirale umgeben, und man konnte die beiden Spiralen nach Belieben so verbinden, daß der Entladungsschlag beide nach gleicher oder nach entgegengesetzter Richtung durchlaufen müßte *). Außer dieser Spirale war noch eine Magnetisirungsspirale in den Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet. Vergleicht man nun den Gang der Magnetisirungsperiode für die beiden Verbindungsarten der Spiralen miteinander, so stimmen sie nicht überein, und daraus schließt Hankel, daß allerdings eine Einwirkung der Wirkungen auf einander stattfände.

Wenn man auch zugiebt, daß die Rieß'schen Versuche noch nicht genügen, den von ihm aufgestellten Satz zu begründen, so sind doch die Hankel'schen noch weniger geeignet, ihn umzustoßen, denn das gesetzmäßige in den Magnetisirungserscheinungen durch den Entladungsschlag, der Einfluß der Zufälligkeiten, ist durchaus noch nicht genügend nachgewiesen, um aus der Nichtcoincidenz zweier solcher Versuchsreihen einen sichern Schluß ziehen zu können.

Die Verschiedenheiten, welche sich in der Magnetisirung von Stahlnadeln ergeben, je nachdem ein langes Drahtstück entweder geradlinig ausgespannt, oder spiralförmig aufgewunden in den Schließungsbogen eingeschaltet ist, wollen wir später unter Nro. 6 näher betrachten.

4. Im Allgemeinen scheinen, wie Hankel aus seinen Versuchen schließt, bei dickeren Nadeln die Erscheinungen nicht geändert zu werden, nur treten die anomalen Perioden erst bei stärkeren Ladungen ein, und scheinen auch an Stärke verloren zu haben.

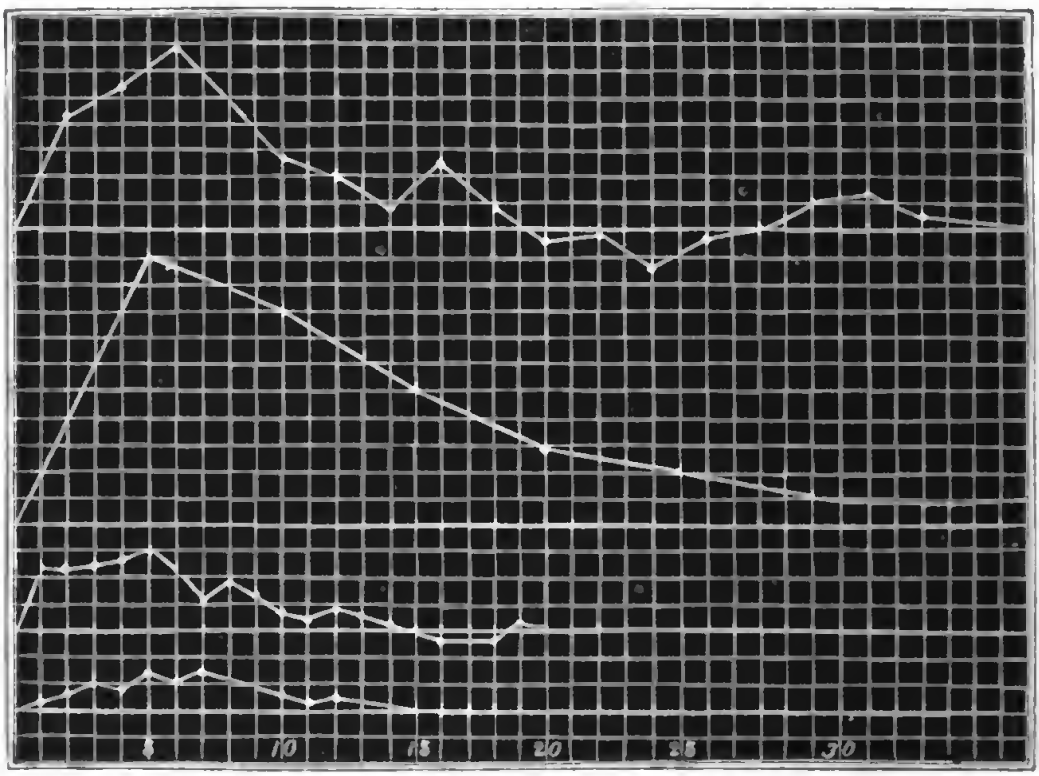
5. Neue Versuche über den Einfluß der Oberfläche der Batterie erga-

*) Hankel giebt die Drahtdicke bis auf Hunderttausentel Millimeter genau an; mir scheint dies für die übrigen Verhältnisse dieser Versuchsreihen ziemlich unnöthige Genauigkeit.

ben, übereinſtimmend mit den früheren Verſuchen, daß eine Verkleinerung der Batterieoberfläche die anomalen Perioden auf immer kleinere Ladungen zurückführt, aber dieſelben zugleich ſo verkürzt, daß ſie bei einer gewiſſen Größe der Batterie aufhören als anomale Magnetiſirungen zu erſcheinen; man beobachtet alsdann nur noch ſtarke und ſchwache normale Perioden.

6. Außer der kürzeſten Einſchaltung, mit welcher die in Fig. 69 dargeſtellten Reſultate erhalten wurden, machte Hankel noch Verſuchsreihen nach Hinzufügung von geradlinig ausgeſpannten 0,23^{mm} dicken Kupferdrähten, deren Länge zwiſchen 0,375 und 96,4 Meter Länge geändert wurde. Die Kurven 1 und 2, Fig. 70, ſtellen die Reſultate dar, welche er für Einſchaltungen von 12 und von 96,4 Meter Länge erhielt. Dieſe Kurven ſcheinen anzudeuten, daß bei längeren Einſchaltungen die einzelnen kleineren Perioden mehr verſchmelzen, bis endlich nur eine große normale Periode mit ſtarker Magnetiſirung beobachtet wird, auf

Fig. 70.



welche eine ſehr breite negative Periode (von 30 bis 100) folgt, in der jedoch nur noch eine ſehr ſchwache Magnetiſirung beobachtet wird.

In Beziehung auf das Verſchwinden der kleineren Perioden erlauben aber, meiner Anſicht nach, dieſe Verſuche doch keinen ſichern Schluß, weil

die Ladung der Batterie bei den längeren Einſchaltungen immer von 5 zu 5, bei den mittleren von 2 zu 2 vermehrt wurde, während ſie bei der kürzeſten Einſchaltung nur immer um 1 wuchs. Wo liegt eine Garantie, daß bei den längeren Drahtwindungen nicht einzelne Perioden überſprungen wurden. Hankel übergeht dieſen Punkt mit Stillſchweigen.

Was den Einfluß der Windungen betrifft, vergleicht Hankel das Reſultat, welches Fig. 70 durch die zweite Kurve dargeſtellt iſt, mit denjenigen, welche 103 Meter deſſelben Drahtes zu 70 Spiralwindungen aufgewunden geben. Während beim geraden Drahte eine normale Periode bis 30 geht, und auf dieſe eine große ſchwache negative folgt, beobachtete er bei den aufgewundenen noch 3 normale und 3 anomale Perioden.

Als 26 Meter eines ſehr dicken (30,76 Quadratmillimeter Querſchnitt) viereckigen Kupferdrahtes eingeſchaltet wurden, zeigte ſich in der Lage der Perioden keine Veränderung, nur waren ſie im allgemeinen ſchwächer geworden. Als außerdem noch 113 Meter eines runden 1,3^{mm} dicken Drahtes geradlinig ausgeſpannt, eingeſchaltet wurden, ergaben ſich die Fig. 70 in der dritten Kurve dargeſtellten Reſultate. Es verſchwanden faſt alle Umkehrungen, die Nadeln zeigten ſich nur ſchwach magnetiſch.

Als 94 Meter des dicken Drahtes ſpiralförmig aufgewunden in den Schließungsbogen eingeſchaltet wurden, ergaben ſich die in der 4ten Kurve der Fig. 70 dargeſtellten Reſultate. Die Schwächungen der Magnetiſirung zeigen ſich hier bei dem dicken ſpiralförmig aufgewundenen Drahte noch auffallender als bei dem dicken gerade ausgeſpannten.

Anſcheinend iſt der Einfluß der Windungen bei dem dicken und dünnen Kupferdraht ein ſehr verſchiedener; deſſen ungeachtet, ſagt Hankel (Seite 336 ſeiner 2ten Abhandlung), iſt aber der Einfluß in beiden Fällen derſelbe. Die Betrachtungen, durch welche er dies nachzuweiſen verſucht, ſind mir unverſtändlich; überhaupt kann ich Hankels Raiſonnements keineswegs klar und präcis nennen.

7. Auffallende Erſcheinungen zeigte die Einſchaltung von Eiſendrähten, welche anomale Perioden von ſehr bedeutender Stärke hervorbringen. Beſonders auffallend fand dies Hankel bei dicken langen Eiſendrähten. Während ein dicker Kupferdraht die Magnetiſirungen ausnehmend ſchwächt, ſo werden ſie durch einen dicken Eiſendraht bedeutend verſtärkt. Bei Einſchaltung eines 1,27^{mm} dicken, 131 Meter langen Eiſendrahtes ergab ſich z. B. für die Ladung 6 ein normales Maximum 11, für die Ladung 36 eine anomale Magnetiſirung von der Stärke 9½, wenn man die Magnetiſirungsſtärke nach der Einheit mißt, welche bei der Conſtruction der oben mitgetheilten Kurven zu Grunde gelegt wurde.

Leidner Flaſchen von dickem Glaſe. Winter in Wien verfer- 71
tigt Leidner Flaſchen, welche eine viel bedeutendere Schlagweite haben, als

gewöhnlich, und er erreicht dies dadurch, daß er Gefäße mit ſehr dicken (über 1 Linie dicken) Glaswänden zur Conſtruction dieſer Flaſchen benutzt, und daß der unbelegte Rand ſehr groß iſt.

Durch die Größe des unbelegten Randes wird die Selbſtentladung, durch die Dicke des Glaſes die Durchbrechung deſſelben möglichſt verhindert; bei einer ſolchen Flaſche kann alſo die Spannung der freien Elektricität auf die innere Belegung eine weit ſtärkere Spannung erreichen, als bei gewöhnlichen dünnglaſigen Flaſchen, bei welchen, wenn nicht eine Selbſtentladung erfolgt, ein Durchſchlagen des Glaſes zu befürchten iſt.

Wegen der größeren Dicke des Glaſes iſt die gegenſeitige Bindung der entgegengeſetzten Elektricitäten beider Belegungen weniger vollſtändig, als bei dünnerem Glaſe; bei gleicher Größe der Belegungen und bei gleicher Dichtigkeit der freien Elektricität auf der inneren Belegung wird alſo in der dickglaſigen Flaſche weniger Elektricität angehäuft ſeyn, als auf der dünnglaſigen; im Allgemeinen iſt alſo die Menge der Elektricität, welche eine dickglaſige Flaſche aufnehmen kann, geringer, aber die Spannung der freien Elektricität auf der inneren Belegung und in Folge deſſen auch die Schlagweite größer.

Es läßt ſich erwarten, daß mit der größeren Schlagweite auch andere Wirkungen des Entladungsſchlages eine Veränderung erleiden werden. Alle Wirkungen des Entladungsſchlages, bei denen es vorzugsweiſe darauf ankommt, daß eine große Menge von Elektricität durch einen Körper hindurchgeführt wird, können beſſer mit größeren dünnglaſigen Flaſchen hervorgebracht werden, wo es aber gleichſam mehr auf die Stärke des Stoßes ankommt, da wendet man beſſer dickglaſige Flaſchen an; es ſchien mir demnach wahrſcheinlich, daß die Durchbohrung von Glasplatten mit dickglaſigen Flaſchen weit leichter gelingen müſſe, als mit gewöhnlichen dünnglaſigen. — Der Erfolg beſtätigte meine Erwartung vollkommen. Während mir früher mit dünnglaſigen großen Flaſchen dieſer Verſuch nicht immer mit Sicherheit gelang und ſtets eine ſehr große Anzahl von Umdrehungen der Maſchine nöthig waren, um die Batterie zum Durchſchlagen des Glaſes hinlänglich zu laden, gelingt er mir jetzt jedesmal mit einer dickglaſigen Flaſche, die mit 20 Umdrehungen einer ſehr mittelmäßigen Elektriſirmaſchine geladen iſt.

Fig. 71.

Die Glasdicke dieſer Flaſche, Fig. 71, beträgt ungefähr 1 Linie; jede Belegung hat ungefähr 9 Quadratdecimeter Oberfläche und der unbelegte Rand hat eine Höhe von 22 Centimeter.

Ich habe den Einfluß der Glasdicke auf die Wirkungen des Entladungsſchlages nicht näher ſtudirt, und theile dieſe Notizen nur mit, um die Aufmerkſamkeit

anderer Phyſiker auf dieſen Punkt zu richten. Es wäre ſehr zu wünſchen, daß Rieß dieſen Gegenſtand aufgriffe, da er bereits auf dieſem Felde mit ſo allgemein anerkanntem Erfolge gearbeitet hat.

Elektriſche Zeichnungen. Durch Elektricität kann man auf der 72
Oberfläche verſchiedener Körper Figuren hervorbringen, welche entweder ſchon direct ſichtbar ſind, oder welche durch Beſtäuben oder Anhauchen erſt ſichtbar werden. Ueber dieſe Erſcheinungen, von denen die Lichtenbergiſchen Figuren die bekannteſten ſind, hat Rieß eine ausgedehnte Verſuchsreihe angeſtellt (P. A. 69. 1) und die Umſtände ſehr genau ermittelt, unter welchen dieſe Figuren und Bilder entſtehen.

Rieß theilt ſie ein in primär elektriſche Zeichnungen, welche dadurch entſtehen, daß verſchiedene Stellen der Oberfläche ſchlecht leitender Subſtanzen in ungleich elektriſchen Zuſtand verſetzt werden, welche dann durch Beſtäubung ſichtbar gemacht wird, und

Secundär elektriſche Zeichnungen, welche erzeugt werden, wenn durch elektriſche Entladung diejenige fremde Schicht, die in der Regel alle Körper überzieht, verändert wird; in dieſem Falle erſcheinen die Zeichnungen durch Behauchung der Platte, oder es entſtehen unmittelbar ſichtbare Zeichnungen, wenn die Oberfläche der Körper ſelbſt irgendwie angegriffen wird.

Betrachten wir zuerſt die durch Bepulverung ſichtbar werdenden elektriſchen Zeichnungen.

Staubfiguren. Um die Lichtenbergiſchen Figuren zu erzeugen, 73
wandte Rieß quadratiſche Kupferbleche an, die entweder nur auf der einen oder auch auf beiden Seiten etwa ½ Linie dick mit ſchwarzem Pech überzogen waren.

Die Bildung der Staubfiguren (Lichtenbergiſche Figuren) iſt eine Folge der elektroſcopiſchen Wirkung der elektriſchen Stellen der Harzflächen auf das durch das Beuteln gleichfalls elektriſche Pulver. Am zweckmäßigſten wendet man ein Gemenge von Schwefelblumen und Mennige an. Poſitiv elektriſche Stellen der Platte bedecken ſich mit Schwefelblumen, ſie erſcheinen alſo gelb; die Mennige ſammelt ſich dagegen auf den negativ elektriſchen Stellen der Platte, welche alſo roth erſcheinen.

Wenn der Funken auf die Pechfläche übergegangen iſt, ſo daß eine Staubfigur erſchienen wäre, wenn man ſie ſogleich beſtäubt hätte, bildete ſich keine Figur, wenn die Pechfläche erſt eine Secunde lang über eine Weingeiſtflamme hinführte, wodurch die Elektricität von der Pechfläche weggenommen wird.

Die einfachſte Art, die Staubfiguren darzuſtellen, wie ſie auch Rieß anwandte, iſt folgende: Eine nur auf einer Seite mit Pech überzogene Kupferplatte wird durch einen Draht ableitend berührt und auf die Pech-

fläche einer iſolirten Metallſpitze aufgeſetzt. Berührt man das obere Ende derſelben mit dem Knopf einer poſitiv geladenen Flaſche, entfernt man alsdann iſolirt die Spitze, ſo erſcheint beim Bepulvern mit der genannten Miſchung eine gelbe runde Sonne mit dichten Strahlen.

Wird der Verſuch in derſelben Weiſe mit einer negativ geladenen Flaſche angeſtellt, ſo entſteht eine kreisrunde volle rothe Scheibe.

Dieſe Verſchiedenheit im Anſehn der Figuren iſt bekannt. Rieß hat aber noch auf einen andern merkwürdigen Unterſchied aufmerkſam gemacht, darauf nämlich, daß die poſitive Figur weit größer iſt, als die negative, wenn gleich ſtarke Ladungen angewandt werden.

Bei einer beſtimmten poſitiven Ladung der Flaſche ergab ſich (als Mittel aus drei Verſuchen) 16,1 Millimeter als Durchmeſſer der gelben Sonne.

Bei gleich ſtarker negativer Ladung ergab ſich (ebenfalls als Mittel aus drei Verſuchen) 5,8 als Durchmeſſer der rothen Scheibe.

Die Durchmeſſer der negativen und poſitiven Figuren, wenn ſie durch gleich ſtarke Ladung der Flaſche erzeugt werden, verhalten ſich demnach wie 1 zu 2,77 oder die von ihnen eingenommenen Flächenräume wie 1 zu 7,67.

Bringt man zwiſchen die iſolirte Spitze und den ableitenden Draht eine auf beiden Seiten mit Pech überzogene Platte, bei Wiederholung des oben angegebenen Verfahrens, ſo entſteht auf der einen Seite die poſitive, auf der andern die negative Figur.

Als die Flaſche mit negativer Elektricität geladen war, entſtand natürlich oben die Scheibe, unten die Sonne, die gelbe Sonne war aber jetzt nur noch 2,2 mal ſo groß, als die rothe Scheibe.

Der Grund davon, daß hier die negative Figur verhältnißmäßig größer ausfiel, als bei dem vorigen Verſuch, liegt in dem Ueberſchuß negativer Elektricität, welche auf die obere Fläche übergegangen war; in der That entſteht auf der oberen Seite eine Sonne, welche 3,3 mal ſo groß war, als die rothe Scheibe auf der untern Seite, wenn man zu demſelben Verſuch eine poſitiv geladene Flaſche anwendet.

Rieß hat gezeigt, daß die Staubfiguren nur dann entſtehen, wenn der Uebergang der Elektricität auf die iſolirende Platte von einer discontinuirlichen Entladung begleitet iſt, die ſich meiſtens ſchon durch ein eigenthümliches Ziſchen zu erkennen giebt. Hält man die Pechplatte an den Knopf einer geladenen Flaſche, ſo geht ein Funken mit kniſterndem Geräuſch über, es findet alſo eine discontinuirliche Entladung Statt, beim Beſtäuben entſteht eine Staubfigur; wird aber die Platte in eine ſolche Entfernung von dem Knopf der Flaſche gebracht, daß kein Funken übergehen kann, ſo geht doch allmälig etwas Elektricität über, indem eine continuirliche

Entladung stattfindet. Bestäubt man die Platte, nachdem sie 30 bis 70 Minuten dem Knopf der Flasche gegenüber gestanden hat, so zeigen sich eine Menge rundlicher Flecken, welche unregelmäßig vertheilt sind, gelb, wenn die Flasche positiv, roth, wenn sie negativ geladen war. Diese Flecken zeigen keine Spur von strahliger Ausbreitung, sie sind an Größe und Gestalt für beide Elektricitäten völlig gleich.

Elektrische Staubfiguren entstehen also nur dann, wenn Elektricität durch eine discontinuirliche Entladung auf eine isolirende Platte gekommen ist.

Auf diese Thatsache gründet Rieß eine sehr sinnreiche Erklärung der Verschiedenheit der positiven und der negativen Staubfiguren. Bei der discontinuirlichen Entladung, welche über die Oberfläche eines Isolators hingeht, wird die condensirte Atmosphäre, welche die Oberfläche aller Körper bedeckt, gewaltsam durchbrochen, und ein Theil dieser auch Wasserdämpfe enthaltenen Schicht gewaltsam gegen die Oberfläche des Körpers selbst geworfen.

Nun aber hat Faraday gezeigt, daß, wenn feuchte Luft gewaltsam gegen irgend einen Körper strömt, dieser negativ elektrisch wird, und so wird denn nun hier auch die Oberfläche der Platte negativ elektrisch in Folge der Entladung, welche über die Fläche hin stattfindet; die von dieser Entladung noch übrig bleibende Elektricität hat sich also nur auf einer negativ elektrischen isolirenden Fläche zu verbreiten.

Ist die Flasche mit negativer Elektricität geladen, so verbreitet sich diese also von der Spitze aus über eine isolirende schon negative Fläche; die Umstände sind also der Ausbreitung der negativen Elektricität nicht günstig, die Figur wird nicht groß werden können und eine abgerundete Gestalt annehmen.

Ist die Flasche positiv geladen, so verbreitet sich der Rest der positiven Ladung von der Spitze aus auf einer durch die discontinuirliche Entladung negativ elektrischen isolirenden Schicht; der Umstand, daß jetzt also auf der Fläche schon Elektricität vorhanden ist, welche auf die von der Spitze noch ferner ausgehende anziehend wirkt, veranlaßt eine größere Ausbreitung der positiven Elektricität, der Umstand aber, daß die nachströmende positive Elektricität theilweise von der vorhandenen negativen neutralisirt wird, verursacht die strahlenförmige Gestalt der positiven Staubfigur.

Als Stütze für diese Ansicht führt Rieß noch die Modification der Erscheinung in verdünnter Luft an. Auf eine Pechplatte, die sich in einer Glasbüchse befand, wurde das stumpfe Ende eines Drahtes gestellt, der von einer mit positiver Elektricität geladenen Flasche einen Funken erhielt. Bei vollem Luftdruck entstand durch Bestäubung der Platte die Sonne, als aber die Luft bis auf 27½ Linien Barometerhöhe verdünnt war, ent-

ſtand nur noch ein unregelmäßiger gelber Fleck. Ebenſo verhielt ſich die negative Elektricität. Der Unterſchied der poſitiven und negativen Figuren wurde bei dieſer Verdünnung nicht mehr beobachtet.

Als die Luft auf 2—3 Linien ausgepumpt war, hinterließ die Drahtſpitze nur noch einen Punkt, der bei poſitiver Elektricität roth, bei negativer Elektricität gelb, alſo nicht durch Uebergang der Elektricität auf die Platte, ſondern durch Vertheilung entſtanden war.

Das Durchbrechen der Luftſchicht, welche die Platte umgiebt, iſt alſo zur Erzeugung der Staubfiguren weſentlich.

74 **Staubbilder.** Wenn man einen Stempel (am beſten einen möglichſt einfachen, etwa einen einzigen erhabenen Buchſtaben; man könnte dazu eine Buchdruckertype anwenden) auf eine einfache Pechplatte (ſo nennt Rieß eine nur auf einer Seite mit Pech überzogene Kupferſcheibe) ſetzt, und dann dem Stempel Elektricität mittheilt, ſo wirkt er da, wo ſeine Fläche die Pechfläche berührt, vertheilend, die Pechfläche wird an der berührten Stelle elektriſch, und zwar entgegengeſetzt zu der Elektricität des Stempels, denn wenn man nach Abheben des Stempels die Platte mit der erwähnten Pulvermiſchung beſtäubt, ſo erhält man ein rothes Bild des Buchſtabens, wenn der Stempel poſitiv, ein gelbes, wenn er negativ war; das Schwefelpulver ſetzt ſich aber auf die poſitiven, Mennigpulver auf die negativen Stellen der Harzplatte.

Die oben beſchriebene Erſcheinung erleidet je nach der Art, wie der Stempel elektriſch gemacht wird, mancherlei Modificationen.

Berührt man den Stempel mit dem Knopf einer geladenen Leidner Flaſche, und hebt man dann den Stempel iſolirt ab, ſo entſteht das Bild des Stempels in der angegebenen Weiſe, es iſt aber ſchwach beſtäubt, während der Grund, durch Staubfiguren gebildet, gelb iſt, wenn der Buchſtaben roth erſcheint, roth aber, wenn der Buchſtaben gelb iſt.

Wird der Stempel nicht iſolirt abgehoben, ſo wird die Staubfigur verändert, wodurch auch die Reinheit des Bildes leidet.

Durch zu ſtarke Elektriſirung läßt ſich auch an der Stelle, wo der Stempel die Platte berührt, der Uebergang der Elektricität auf der Platte wenigſtens theilweiſe erzwingen, ſo daß ein theils rothes, theils gelbes Staubbild entſteht.

Hier haben wir alſo gleichzeitig ein Staubbild und Staubfiguren. Um das Staubbild rein zu erhalten, muß man die Bildung der Staubfiguren vermeiden, was Rieß durch mehrere Methoden erreichte.

Der Knopf der Leidner Flaſche wurde mit einer vierzölligen Kugel vertauſcht, die Flaſche ſelbſt horizontal gelegt und befeſtigt, ſo daß man unter die Kugel die Pechplatte und den Stempel ſtellen konnte; der Stiel des Stempels war $\frac{1}{2}$ Zoll von der Kugel entfernt. Durch die vertheilende

Kugel wurde das Ende des Stempels, welches das Pech berührte, mit der Kugel gleichnamig elektrisch, eine zu starke Anhäufung der Elektricität wurde dadurch verhindert, daß der Stempel mit einer Spitze versehen war. Nachdem der Stempel etwa 20 bis 30 Minuten der vertheilenden Wirkung der Kugel ausgesetzt gewesen war, entstand ein reines Staubbild ohne Staubfigur, dagegen fanden sich unregelmäßige Flecke auf dem Grunde, welche nicht von der Farbe des Bildes waren.

Aehnliche Resultate wurden erhalten, als der Stempel mit dem einen Pol einer kräftigen trockenen Säule mehrere Stunden lang in Verbindung blieb, während die Elektricität des anderen Pols möglichst vollständig abgeleitet wurde.

In diesen Fällen, wo überhaupt keine Staubfigur entstand, war es gleichgültig, ob man den Stempel isolirt oder nicht isolirt abhob.

Die Farbe der unregelmäßigen Flecken zeigt, daß sie von Elektricität herrühren, die von dem Stempel auf die Pechplatte an Stellen übergegangen ist, die ihr ein leichtes Einströmen erlaubten. Um sie zu vermeiden, hat man nur dieser Elektricität einen noch leichteren Uebergang zu einer leitenden Umgebung zu bereiten, wie es geschieht, wenn man die Staubbilder in verdünnter Luft erzeugt. Rieß hat auf diese Art die vollkommensten Staubbilder erhalten.

Die bisher betrachteten Staubfiguren und Staubbilder sind nach der Bezeichnung von Rieß primär elektrische Zeichnungen, die im Folgenden zu betrachtenden Figuren und Bilder sind secundär elektrische Zeichnungen.

Elektrische Hauchfiguren. Die Oberfläche von Glas, Glimmer u. s. w., 75
über welche ein elektrischer Entladungsfunken gegangen ist, zeigt beim Behauchen eigenthümliche verästelte Figuren, die spiegelhell auf dem vom Hauche getrübten Grunde stehen.

Die Hauchfigur bezeichnet den Weg, welchen die elektrische Entladung auf der Fläche genommen hat und ihre Form ist daher nach der Natur der Substanz dieser Fläche verschieden. Auf Metall erscheint sie als runde Scheibe, auf Harz als geschlängelte Streifen, auf Glimmer als feine, vielfach verästelte Linie.

Von der Art der angewandten Elektricität ist die Hauchfigur unabhängig.

Daß die Hauchfiguren nicht von Elektricität herrühren, welche noch auf der Fläche haftet, geht daraus hervor, daß sie sich auch auf Metallflächen darstellen lassen, auf welchen sie beim Behauchen als helle Kreisfläche umgeben von mehr oder minder getrübten Ringen erscheinen; auch zeigt sich die Hauchfigur noch längere Zeit, nachdem der Entladungsschlag über die Fläche gegangen ist, oder wenn man die Fläche von einer Weingeistflamme

hat beſtreichen laſſen; von anhaftender Elektricität können die Hauchfiguren alſo nicht herrühren, ſie ſind einer Oberflächenänderung zuzuſchreiben, welche die angewandte Subſtanz durch die elektriſche Entladung erfahren hat.

Auf friſchen Glimmerflächen, d. h. auf ſolchen, welche durch eine friſche Spaltung erhalten werden, kommen keine Hauchfiguren zu Stande. Es hängt dies von einer eigenthümlichen Eigenſchaft der friſchen Glimmerflächen ab, welche Rieß im 67ſten Bande von Poggendorff's Annalen Seite 354 beſchrieben hat.

Wird ein reines Glimmerblatt angehaucht, oder über dampfendes Waſſer gehalten, ſo beſchlägt es, wie alle Körper, es wird mit einer bald wieder verſchwindenden Waſſerſchicht überzogen, die aus ſehr kleinen, in einigem Abſtande von einander befindlichen Waſſertropfen beſteht.

Wenn man aber dem Glimmer durch Spaltung eine friſche Oberfläche giebt, ſo bleibt ſie beim Behauchen vollkommen klar, ſpiegelnd und durchſichtig.

Dieſe Erſcheinung rührt keineswegs daher, daß die friſche Fläche keinen Waſſerdampf condenſirt; hat man ihr einige Ausdehnung gegeben, ſo bemerkt man leicht, daß ſie durch den Hauch mit den Farben der dünnen Blättchen anläuft, alſo mit einer zuſammenhängenden Waſſerſchicht bedeckt iſt.

Ein Waſſertropfen, der auf einer alten Glimmerfläche ſtehen bleibt, zerfließt auf einer friſchen ſogleich und benetzt dieſelbe vollſtändig.

Eine durch Spaltung eben entſtandene Glimmerfläche beſitzt alſo in Folge ihrer großen Reinheit eine ſo große Anziehung zum Waſſergaſe, daß ſie daſſelbe zu einer cohärenten Schicht verdichtet, während ſie längere Zeit der Luft ausgeſetzt, daſſelbe nur in geſonderten Tropfen zu condenſiren vermag.

Während eine alte Glimmerfläche ein ſehr guter Iſolator der Elektricität iſt, wird ein Elektroſcop durch eine friſche Glimmerfläche in wenigen Sekunden entladen, die friſche Glimmerfläche wirkt nämlich hygroſcopiſch, ſie verdichtet den atmoſphäriſchen Waſſerdampf zu einer cohärenten Waſſerſchicht, welche die Elektricität leitet.

Dieſe merkwürdige Eigenſchaft friſcher Glimmerflächen erhält ſich an der Luft nur kurze Zeit, nach einigen Tagen wird ſie ſchon durch Behauchen getrübt.

Sehr heftige elektriſche Entladungen bringen nicht allein eine Veränderung der die Körper bedeckenden fremden Schicht hervor, ſondern ſie verändern die Oberfläche der Körper ſelbſt. Hierher gehören die ſchon oben S. 111 betrachteten Spuren, welche die Entladungsfunken auf Glas und Glimmer zurücklaßt (elektriſche Farbenſtreifen) und die Prießley'ſchen

Ringe, welche entſtehen, wenn mehrere Entladungen einer Batterie zwiſchen einer Spitze und einer polirten Metallfläche Statt finden, wobei ſich durch Oxydation des Metalls mehrere gefärbte concentriſche Kreiſe bilden.

Karſten's elektriſche Abbildungen. Die Analogie elektriſcher 76
Hauchfiguren, welche Rieß im VI. Bande von Dove's Repertorium der Phyſik beſchrieben hatte, mit den Moſer'ſchen Bildern, veranlaßte Karſten zu verſuchen, ob ſich nicht auch ſolche Bilder auf elektriſchem Wege darſtellen ließen.

Zu dem Ende legte er (P. A. LVII. 492) eine Münze auf Spiegelglas, das auf einer abgeleiteten Metallplatte ruhte und ließ aus dem Conductor der Maſchine Funken auf die Münze ſchlagen, die zugleich von dieſer nach der Metallplatte (alſo um den Glasrand herum) überſchlugen. Nach 100 Umdrehungen der Maſchine wurde die Münze entfernt; die Glastafel erſchien durchaus unverändert, beim Behauchen aber kam das vollſtändige Bild der Münze zum Vorſchein.

Ueber elektriſche Abbildungen hat Karſten außer dem erwähnten noch zwei andere Aufſätze in Poggendorff's Annalen publicirt (LVIII. 115 und LX. 1), da es ihm jedoch nicht gelungen iſt, die wahre Natur der elektriſchen Bilder zu ermitteln, ſo iſt es wohl unnöthig, weiter in's Detail dieſer Abhandlungen einzugehen, um ſo mehr, da, wie wir ſogleich ſehen werden, Rieß die zur Entſtehung elektriſcher Bilder erforderlichen Bedingungen richtig erkannt hat, der Bericht über die Rieß'ſche Unterſuchung alſo hinreicht, um wenigſtens das Thatſächliche zur Kenntniß des Leſers zu bringen.

Nur nach einer Seite hin müſſen wir Karſten's letzten Aufſatz noch etwas betrachten. Im Eingange führt er mehrere Verſuche an, die man gemacht hat, um die Entſtehung der Moſer'ſchen Bilder zu erklären; er führt hier außer Moſer's eigner Theorie noch die Anſichten von Hunt, Knorr, Figrau, Daguerre, Maſſon und Moore an. Warum wird hier Waideles treffliche Arbeit über dieſen Gegenſtand ignorirt, die doch ſchon in der erſten Hälfte des 59ſten Bandes von Poggendorff's Annalen ſteht, und welche uns, nachdem dieſe Bilder Veranlaſſung zu vielfachen theoretiſchen Schwindeleien geworden waren, zuerſt wieder auf den Boden einer rationellen Behandlung des Gegenſtandes zurückführt. Sollte Karſten dieſe Arbeit bei Abfaſſung des Aufſatzes im 60ſten Bande der Annalen noch nicht gekannt haben?

Die Erklärung, die Karſten von den Moſer'ſchen Bildern giebt, iſt durchaus unzuläſſig und leicht zu widerlegen. Er meint, weil man mit Hülfe von Elektricität ähnliche Bilder erzeugen kann, ſo müßten auch die Moſer'ſchen Bilder elektriſchen Urſprungs ſeyn. — Er meint: »Wenn zwei Körper, die irgendwie von einander verſchieden ſind mit ein-

ander in Berührung kommen, ſo entſteht ein elektriſcher Strom!?« und dieſer ſoll die Urſache der Moſer'ſchen Bilder ſeyn.

Die Entſtehung eines elektriſchen Stromes bei Berührung zweier heterogener Körper, wie es ſich hier Karſten vorzuſtellen ſcheint, wird ſelbſt der eifrigſte Anhänger der Contacttheorie nicht zugeben, aber ſelbſt die Exiſtenz eines ſolchen Stromes zugegeben, würde dieſer kein Bild erzeugen können, wie die Rieß'ſchen Unterſuchungen beweiſen.

Daß eine elektriſche Spannung allein ohne wiederholte Entladung zwiſchen dem abzubildenden Körper und der Platte zur Erzeugung elektriſcher Bilder nicht hinreicht, hat ſchon Knorr in einem Aufſatz: »über elektriſche Abbildungen und Thermographien (P.A. LXI.569)« gezeigt, und die Unhaltbarkeit der Karſten'ſchen Anſicht, als ſeyen die Moſer'ſchen Bilder elektriſchen Urſprungs, nachgewieſen.

Der übrige Inhalt der Knorr'ſchen Aufſätze wird als nicht hierher gehörig erſt bei einer andern Gelegenheit beſprochen werden.

77 **Elektriſche Hauchbilder.** Rieß ſetzte einen Metallſtempel auf eine ſpiegelnde Pechfläche, auf dieſen ein kleines Metallgewicht, welches durch einen Metallfaden (Silberfaden) mit derjenigen Kugel des Funkenmikrometers verbunden war, welche direct vom Conductor der Maſchine die Elektricität empfing, während die andere Kugel des Funkenmikrometers $\frac{1}{2}$ Linie von der erſteren entfernt, mit dem Boden in leitender Verbindung ſtand.

Wird nun die Maſchine gedreht, ſo häuft ſich auf der erſten Kugel des Funkenmikrometers und dem Stempel Elektricität an, bis eine Entladung durch Ueberſchlagen eines Funkens zwiſchen den beiden Kugeln entſteht; bei fortgeſetztem Drehen wird der Stempel von neuem geladen und entladen u. ſ. w. Die Entladungen folgen um ſo raſcher, je näher die Kugeln des Funkenmikrometers einander ſtehen.

Nach einigen Umdrehungen der Scheibe wurde der Stempel abgehoben, und die Platte behaucht und zeigte nun ein ſpiegelndes Bild des Stempels auf trübem Grunde.

Es iſt für dieſen Verſuch gleichgültig, welche Elektricität die Elektriſirmaſchine liefert.

Auf Glas und Glimmer laſſen ſich ſolche Bilder ebenfalls erzeugen, jedoch erſcheinen hier öfters mißlungene Bilder.

Das einfache Hauchbild, ſagt Rieß, entſteht durch wiederholte elektriſche Entladungen, die zwiſchen dem Modelle und der iſolirenden Platte in entgegengeſetzter Richtung ſtattfinden. Die Elektricität, welche den Modellen mitgetheilt wird, geht auf die Platte über, und ſpäter an das Modell zurück, wenn dieſes durch das Funkenmikrometer entladen wird; es entſteht alſo eine Bewegung derſelben Elektricitätsart von Oben nach

Unten, und dann wieder von Unten nach Oben. — Da die Entladungen zwiſchen einem ſchlechten und einem guten Leiter nie vollſtändig ſind, ſo bleibt Elektricität der angewandten und der entgegengeſetzten Art auf die ſo iſolirende Platte zurück, welche daſelbſt Staubfiguren, oft auch Staubbilder zu erzeugen im Stande ſind.

Durch einfache Elektriſirung des Stempels, wie ſie zur Hervorbringung der Staubbilder angewandt wird, entſteht kein Hauchbild; die abwechſelnde Ladung und Entladung des Stempels iſt zur Bildung des Hauchbildes durchaus nöthig.

Legt man auf eine Pechplatte ein Glimmerblatt, und ſetzt man auf dieſes einen Metallſtempel, ſo wird bei der Elektriſirung des Stempels eine zweifache Entladung derſelben Elektricitätsart nach derſelben Richtung ſtattfinden, nämlich vom Stempel zur oberen Glimmerfläche und von der unteren Glimmerfläche zur Pechplatte. Als der Stempel von einer poſitiv geladenen Flaſche ein Funken mitgetheilt worden war, zeigte die Pechfläche beſtäubt das gelbe Bild des Stempels von poſitiven Staubfiguren umgeben; wenn man alſo bei dieſer Anordnung der Stempel abwechſelnde Ladung und Entladung erfährt, ſo ſind die Bedingungen zu Bildung mehrfacher Hauchbilder gegeben.

Eine Pechfläche wurde mit einem Glimmerblatte bedeckt und ein Stempel darauf geſtellt, der durch das Funkenmikrometer geladen und entladen wurde. Nach 20 Umdrehungen zeigte die obere Glimmerfläche ein vollkommenes, die untere Glimmerfläche und die Pechfläche aber ein meiſt unvollkommenes Hauchbild.

Dieſe Bilder bleiben ſo oft unvollkommen, weil Pech und Glimmer durch die nach jeder Entladung zurückbleibende Elektricität ſtark zuſammenhaften und folgende Entladungen dann an Stellen herbeigeführt werden, die zufällig zerſtreut außerhalb der Bildfläche liegen, wird aber für die Pechplatte eine Metallplatte ſubſtituirt, ſo erhält man ein vollkommenes Hauchbild auf der oberen und unteren Glimmerfläche und auf der Metallfläche.

Das Sichtbarwerden der Hauchbilder iſt nach Rieß dadurch zu erklären, daß die Oberflächen durch die elektriſchen Entladungen von der fremden Schicht befreit werden, mit welcher ſie in der Regel überzogen ſind, und er hat eine ſolche Reinigung bei Bildern auf Metall auch nachgewieſen. Auf einer vollkommen iſolirenden Glimmerfläche erzeugte Rieß ein Hauchbild und nun zeigte ſich die Stelle, an welcher das Bild erſchien, leitend wie eine friſche Glimmerfläche; die Glimmerfläche war alſo in der That von der ſie bedeckenden Schicht an dieſer Stelle gereinigt worden.

In den meiſten Fällen werden die Hauchbilder allerdings durch eine

ſolche Reinigung erzeugt, das Hauchbild kann aber auch durch Verunreinigung der Platte entſtehen.

Auf einer friſchen Glimmerfläche erhält man ein getrübtes Bild des Stempels auf ſpiegelndem Grunde. Auf einer alten Glimmerfläche, welche durch 40 Umdrehungen elektriſirt, ein helles Hauchbild (Grund behaucht) gab, wurde durch 100 Umdrehungen ein Bild erzeugt, welches vollkommen getrübt hervortrat.

Die in der Trübung verſchiedene Art des Hauchbildes hängt vom Zuſtande der angewandten Platte und des Stempels, und von der Stärke der Elektriſirung ab, und die helleren Bilder kommen nur deßhalb öfter vor, weil man ſich unreiner Platten, und einer möglichſt geringen Elektricität zu bedienen gewohnt iſt.

Die Entſtehung der Hauchbilder iſt, wie die der Hauchfiguren einer Veränderung zuzuſchreiben, welche die elektriſche Entladung in der Schicht hervorbringt, welche die Platten deckt, und je nach Umſtänden in einer Verdünnung oder Verdichtung dieſer Schicht beſteht.

Ein Funken, aus einer reinen Metallfläche gezogen, verletzt dieſelbe, läßt ſie aber unverändert, wenn ſie unrein oder gar gefirnißt iſt. Ein ähnlicher Fall tritt auch bei den Hauchbildern auf Metall ein. Geht nur eine geringe Anzahl von Entladungen zwiſchen der Metallfläche und dem ſie deckenden Glimmer über, ſo beginnt die intermittirende Entladung in der fremden Schicht auf der Oberfläche des Metalls, und das Metall bleibt unverletzt; iſt hingegen dieſe fremde Schicht zerſtört und dadurch eben das Hauchbild entſtanden, und man läßt die Entladungen fortdauern, ſo beginnen dieſe im Metalle ſelbſt und verändern daſſelbe. Rieß hat ſolche Bilder, die ſich ohne Behauchung zeigten und einzelne Theile des Stempels in bräunlicher Farbe wiedergaben, auf Silber zuweilen ſchon durch 50 bis 60 Umdrehungen dargeſtellt.

78 **Elektrolitiſche Bilder.** Wird die ſtumpfe Spitze einer Platinnadel auf ein mit Jodkaliumlöſung befeuchtetes Papier geſtellt, das auf einer zur Erde abgeleiteten Metallplatte liegt, ſo entſteht unter der Spitze ein brauner Fleck, wenn man die Nadel poſitiv, aber kein Fleck, wenn man die Nadel negativ elektriſirt. Wendet man poſitive und negative Elektricität in beliebiger Ordnung nach einander an, ſo bleibt dennoch die Färbung, ſelbſt wenn die Menge der negativen Elektricität die der poſitiven bei weitem übertrifft.

Dies Factum erklärt die elektrolitiſchen Bilder, welche Rieß erfunden hat, um die Richtigkeit der eben angeführten Anſicht, über die Bildung der Hauchbilder durch hin- und hergehende Entladung, zu beweiſen.

Ein Stück (Muſter-) Karten-Papier wurde auf einer Fläche mit einer Löſung von Jodkalium in Waſſer befeuchtet auf eine zur Erde abgeleitete

Metallplatte gelegt und mit einem Glimmerblatte bedeckt. Ein Stempel wurde auf den Glimmer geſtellt, durch ein Gewicht von 2 — 14 Unzen angedrückt und mit dem Funkenmikrometer verbunden, deſſen Kugeln ½ Linie von einander entfernt waren. Nach 20 Umdrehungen der Scheibe, deren poſitive Elektricität fortwährend mit Funken zwiſchen den Kugeln überging, war ein ſehr ſcharfes Bild auf dem Papier entſtanden, in welchem die Buchſtaben des Stempels braun erſchienen.

Die Erklärung dieſer Erſcheinung iſt nach dem obigen leicht. Wie bei den Hauchbildern geht, während der Stempel mit poſitiver Elektricität geladen wird, die poſitive Elektricität von der unteren Glimmerfläche zu der Metallplatte und zwar hier durch das feuchte Papier über, und durch dieſen Uebergang der $+E$ zur Metallplatte wird das Jodkalium zerſetzt; ſobald eine Entladung zwiſchen den Kugeln des Funkenmikrometers ſtattfindet, findet zwiſchen der Metallplatte und dem Glimmer eine entgegengeſetzte Strömung Statt, es kehrt nämlich jetzt die $+E$ zum Glimmer zurück, alſo $-E$ vom Glimmer durch die feuchte Scheibe zum Metall. Während die $+E$ zum Metall geht, wird das Jodkalium zerlegt und dieſer Effect wird durch die Entladung in entgegengeſetzter Richtung nicht aufgehoben.

Sehr zu bemerken iſt, daß das Uebergehen der $+E$ vom Glimmer zum Metall allmälig ſtattfindet, während die Entladung in entgegengeſetzter Richtung momentan vor ſich geht.

Wiederholt man den Verſuch genau in derſelben Weiſe mit $-E$, ſo erhält man kein Bild, ſondern unregelmäßige braune Flecken.

Dies erklärt ſich nun auch leicht; hier geht nämlich die negative Elektricität allmälig zur Metallplatte, während die Strömung in entgegengeſetzter Richtung plötzlich vor ſich geht, alſo eine größere Menge poſitiver Elektricität auf einmal zur Metallplatte zurückkehrt, alſo leichter auch an ſolchen Punkten übergeht, die außerhalb der Bildfläche liegen.

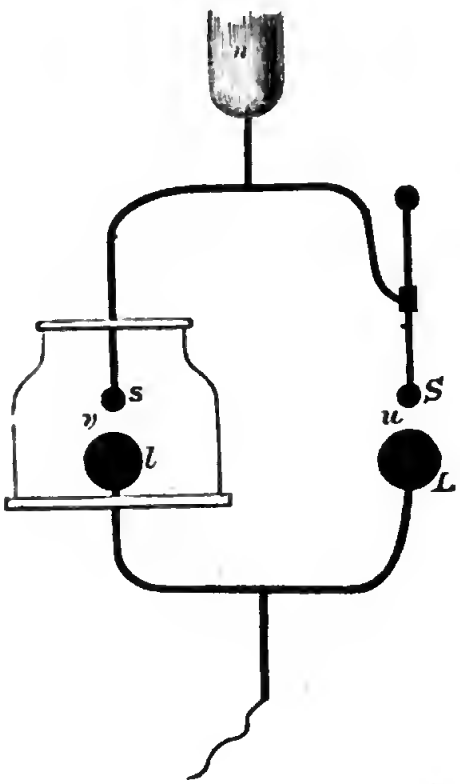
Um mit negativer Elektricität ein Bild zu erhalten, hat man nur dafür zu ſorgen, daß die Menge der $+E$, welche bei der Entladung zwiſchen den Kugeln zur Metallplatte zurückkehrt, geringer wird, was man dadurch erreicht, daß man die Kugeln des Funkenmikrometers einander nähert.

Vierter Abſchnitt.

Elektriſche Funken und Lichtbüſchel.

79 **Faraday's Unterſuchungen über Funken und Lichtbüſchel.** Ohne näher auf die an einer andern Stelle (Seite 64) ſchon erwähnten theoretiſchen Betrachtungen einzugehen, welche Faraday über Funken und Lichtbüſchel anſtellte, will ich hier nur die wichtigſten Thatſachen zuſammenſtellen, welche er bei ſeinen Verſuchen über dieſe Lichterſcheinungen ermittelt hat. (P. A. XLVII. und XLVIII.)

Fig. 72.



Um den Widerſtand, welchen verſchiedene Gaſe dem Ueberſchlagen von Funken entgegenſetzen, mit dem entſprechenden Widerſtande der Luft zu vergleichen, wandte Faraday einen Apparat an, deſſen Schema in Figur 72 dargeſtellt iſt. Zwei kleine Kugeln s und S, die mit dem Conductor einer Elektriſirmaſchine verbunden ſind, ſtehen zwei größern Kugeln l und L gegenüber, welche ableitend mit dem Boden in Verbindung

ſtehen. Der Durchmeſſer der Kugeln war folgender:

s	0,93 Zoll	l	2,02 Zoll
S	0,96 »	L	1,95 »

Der Zwiſchenraum v zwiſchen s und l blieb beſtändig 0,62 Zoll; der Zwiſchenraum u zwiſchen S und L war veränderlich.

Es wäre ſehr gut geweſen, wenn die beiden kleinen Kugeln s und S einander vollkommen gleich geweſen wären, ebenſo hätten eigentlich l und L ganz gleich ſeyn ſollen, man hätte alsdann viel ſicherere Schlüſſe aus den folgenden Verſuchen ziehen können.

Die beiden Kugeln s und l befanden ſich in einer Glasglocke, die luftleer gemacht und dann mit verſchiedenen Gaſen gefüllt werden konnte.

War der Recipient mit Luft unter dem Drucke der Atmoſphäre gefüllt, ſo ſchlugen die Funken abwechſelnd bei u und v über, wenn der Zwiſchenraum bei u zwiſchen 0,6 und 0,79 Zoll betrug. Nur wenn der Zwiſchenraum u kleiner als 0,6 Zoll war, ſchlugen hier die Funken beſtändig über, war er aber größer als 0,79 Zoll, ſo ſchlugen die Funken beſtändig bei v über.

Aehnliche Reſultate wurden erhalten, wenn andere Gaſe, unter dem Drucke der Atmoſphäre im Recipienten waren. Es ergaben ſich für den Zwiſchenraum bei u zwei Gränzen, innerhalb deren der Funke bald bei u, bald bei v überſchlägt; iſt der Zwiſchenraum bei u kleiner als der kleinſte dieſer Gränzwerthe, ſo ſchlägt der Funken ſtets bei u, iſt er aber größer als der größte dieſer Gränzwerthe, ſo ſchlägt er ſtets bei v über. Die folgende Tabelle giebt für verſchiedene Gaſe die Gränzwerthe von u an, während v ſtets 0,62 Zoll bleibt.

		kleinſter	größter	mittlerer
Luft s und S	+	0,60	0,79	0,695
	—	0,59	0,68	0,635
Sauerſtoff s und S . .	+	0,41	0,60	0,505
	—	0,50	0,52	0,510
Stickſtoff s und S . .	+	0,55	0,68	0,615
	—	0,59	0,70	0,645
Waſſerſtoff s und S . .	+	0,30	0,44	0,370
	—	0,25	0,30	0,275
Kohlenſäure s und S .	+	0,56	0,72	0,640
	—	0,58	0,60	0,590
Oelbildendes Gas s und S	+	0,64	0,86	0,750
	—	0,69	0,77	0,730
Steinkohlengas s und S	+	0,37	0,61	0,490
	—	0,47	0,58	0,525
Salzſäuregas s und S .	+	0,89	1,32	1,105
	—	0,67	0,75	0,720

Eine ähnliche Verſuchsreihe gab

		kleinſter	größter	mittlerer
für Waſſerſtoff	s und $S+$	0,23	0,57	0,400
» Kohlenſäure		0,51	1,05	0,780
» ölbildendes Gas		0,66	1,27	0,965

was mit den obigen Reſultaten eben nicht ſehr übereinſtimmt, ein Beweis, daß dieſe Zahlen keine ſonderliche Baſis bieten, um Schlüſſe darauf zu bauen.

Daß innerhalb gewiſſer Gränzen für die Entfernung bei u der Funken abwechſelnd bei u oder v überſchlägt, daß es alſo nicht für jedes Gas einen einzigen feſt beſtimmten Werth von u giebt, über welchen hinaus der Funken ſtets bei v, unter welchen aber der Funken ſtets bei u überſpringt, hängt jedenfalls von Zufälligkeiten ab (vielleicht von Staubtheilchen die in der Luft ſchweben), über die wir keine Rechenſchaft geben können.

Wenn an einem der Zwiſchenräume einmal ein Funken übergegangen iſt, ſo hat er gewöhnlich eine ſtärkere Neigung zum Erſcheinen an demſelben Zwiſchenraume.

Ein merkwürdiger Umſtand liegt darin, daß die erwähnten Gränzwerthe der Entfernung u viel näher zuſammen fallen, wenn s und S negativ, als wenn dieſe Kugeln poſitiv ſind. Es iſt nämlich nach obiger Tabelle die Differenz der Gränzwerthe

	s und S +	s und S −
in Luft	0,19	0,09
Sauerſtoff	0,19	0,02
Stickſtoff	0,13	0,11
Waſſerſtoff	0,14	0,05
Kohlenſäure	0,16	0,02
ölbildendem Gas	0,22	0,08
Steinkohlengas	0,24	0,12
Salzſäuregas	0,43	0,08

Obwohl, wie Faraday ſelbſt bemerkt, dieſe Zahlen wohl noch einer bedeutenden Berichtigung bedürfen, ſo iſt doch das allgemeine Reſultat auffallend und der Unterſchied in mehreren Fällen ſehr groß.

Aus dieſen Verſuchen geht klar hervor, daß verſchiedene Gaſe nicht gleiches Iſolationsvermögen haben. Betrachten wir die mittleren Werthe von u (für poſitive Ladung von s und S), ſo ſehen wir daraus, daß eine 0,62 Zoll dicke Schicht von

Sauerſtoff	eben ſo gut iſolirt wie eine Luftſchicht, deren Dicke iſt	0,505
Stickſtoff		0,615
Waſſerſtoff		0,370
Kohlenſäure		0,640
Ölbildendes Gas		0,750
Steinkohlengas		0,490
Salzſäuregas		1,105

d. h. eine elektriſche Entladung geht eben ſo leicht durch eine 0,370 Zoll dicke Luftſchicht, wie durch eine 0,62 Zoll dicke Schicht von Waſſerſtoffgas, ein elektriſcher Funken ſchlägt eben ſo leicht durch eine 1,105 Zoll dicke Luftſchicht wie durch eine 0,62 Zoll dicke Schicht von Salzſäuregas. Ein elektriſcher Funken ſchlägt alſo entſchieden leichter durch Sauerſtoff, Waſſerſtoff und Steinkohlengas, als durch eine gleich dicke Schicht von Luft, dagegen ſetzt Salzſäuregas und ölbildendes Gas dem Ueberſchlagen des elektriſchen Funkens einen entſchieden größeren Widerſtand entgegen als eine gleich dicke Luftſchicht.

Aehnliche Reſultate ergab eine ſpätere, jedenfalls weniger zuverläſſige Verſuchsreihe. (P. A. XLVIII. S. 281.)

Die mittleren Werthe von u ſind nicht gleich bei poſitiver und negativer Ladung von s und S, für manche Gaſe hat u einen größeren mittleren Werth, bei poſitiver Ladung von S und s als bei negativer, bei anderen Gaſen iſt es umgekehrt; aus dieſen Verſuchen jedoch den Schluß ziehen zu wollen, daß manche Gaſe die negative, andere die poſitive Entladung beſſer durchlaſſen, ſcheint mir durchaus unzuläſſig, weil die hierher gehörigen Differenzen der obigen Tabelle offenbar innerhalb der Beobachtungsfehler liegen.

So iſt nach der Tabelle auf S. 187 der mittlere Werth von u bei poſitiver Ladung von s und S für

Waſſerſtoff . .	0,37
Kohlenſäure . .	0,64
ölbildendes Gas .	0,75,

während Faraday bei einer ſpäteren Verſuchsreihe bei gleicher Anordnung folgende Werthe erhielt:

Waſſerſtoff . .	0,40
Kohlenſäure . .	0,78
ölbildendes Gas .	0,96.

Man ſieht, daß die entſprechenden Werthe von u, welche man für poſitive Ladung von s und S erhielt, und welche eigentlich gleich ſeyn ſollten, eben ſo ſtark von einander differiren, wie die entſprechenden Werthe bei poſitiver und negativer Ladung von S und s, wonach es wohl als gerechtfertigt erſcheint, wenn man auf dieſe Differenzen kein weiteres Gewicht

legt; ein Grund mehr, welcher dafür ſpricht, dieſe Differenzen auf Koſten der Beobachtungsfehler zu ſchreiben, liegt darin, daß auch, wenn Luft in der Glocke iſt, wenn alſo der Funken bei *v* ebenfalls durch Luft ſchlägt, der poſitive und negative Mittelwerth für *u* ungleich gefunden wurde, nämlich wenn *s* und *S* poſitiv, war $u = 0{,}695$; als *s* und *S* negativ, war $u = 0{,}635$. — Dieſe Differenz kann doch nur zufälligen Störungen zugeſchrieben werden, welche eben die Beobachtungsfehler bedingen, denn warum ſollte bei poſitiver Ladung von *s* und *S* der Funken leichter durch die Luft bei *v*, bei negativer Ladung leichter durch die Luft bei *u* übergehn? — Wenn Luft im Gefäß iſt, hätte man den Werth von *u* für + und — Ladung von *s* und *S* doch nur unbedeutend verſchieden finden müſſen, wenn die Beobachtungsfehler nicht zu bedeutend wären.

Faraday ſelbſt hält dieſe Verſuche in dieſer Beziehung nicht für entſcheidend, führt aber noch einiges an, was für eine ſolche Differenz zwiſchen poſitiver und negativer Entladung ſprechen ſoll. Als $u = 0{,}8''$ gemacht und die Glocke mit Salzſäuregas gefüllt worden war, fand bei poſitiver Ladung von *s* und *S* die Entladung ſtets bei *u* durch Luft, bei negativer Ladung von *s* in *S* aber ſtets bei *v* durch das Salzſäuregas Statt.

So fand ſich auch, daß, wenn der Conductor nur mit dem Salzſäure-Apparat verbunden war, die Entladung leichter bei negativer Ladung der kleinen Kugel *s* geſchah, als bei poſitiver, denn in letzterem Falle ging viel von der Elektricität als Lichtbüſchel-Entladung aus dem Verbindungsdraht durch die Luft, allein im erſteren Falle ſchien alles durch das Salzſäuregas zu gehen. (P. A. XLVII. 287.)

80 **Ungleiche Schlagweite bei poſitiver und negativer Entladung.** Viele bekannte Erſcheinungen ſprechen allerdings dafür, daß die poſitive und negative Entladung nicht mit gleicher Leichtigkeit ſtattfinde. Wenn einer kleinen, mit dem Conductor verbundenen Kugel, welche alſo die vertheilende iſt, eine größere ableitend berührte (die vertheilte) gegenüberſteht, ſo erhält man bekanntlich faſt doppelt ſo lange Funken, wenn der Conductor poſitiv, als wenn er negativ iſt.

Faraday hat dieſen Umſtand näher unterſucht, und dabei folgende Thatſachen ermittelt.

Die Entladung ließ er vor ſich gehn zwiſchen zwei Kugeln, von denen die eine 2, die andere 0,25 Zoll im Durchmeſſer hatte. War die große Kugel mit dem Conductor verbunden, alſo die vertheilende, ſo erſchienen bei poſitivem Conductor

Funken allein bis zu einem Zwiſchenraume von . . . . 0,49 Zoll
negative Büſchel, von der kleinen Kugel ausgehend allein, wenn
der Zwiſchenraum größer war, als . . . . . 0,52 »

Bei negativem Conductor
Funken allein bis zu einem Zwischenraum von . . . . 1,15 Zoll
Positive Büschel, von der kleinen Kugel ausgehend allein,
wenn der Zwischenraum größer war als . . . . . 1,65 »

Zwischen diesen Gränzen erhielt er Funken und Büschel gemischt.

Nun wurde die kleine Kugel mit dem Conductor in Verbindung gebracht, die große zum Boden abgeleitet. Es ergaben sich bei positivem Conductor
Funken allein bis zu einem Zwischenraum von . . . . . 0,67 Zoll
positive Büschel allein, wenn der Zwischenraum größer war als 0,74 »
Bei negativem Conductor
Funken allein bis zu einem Zwischenraum von . . . . 0,4 »
negative Büschel allein, wenn der Zwischenraum größer war als 0,44 »

Aus diesen Versuchen ergiebt sich also:

1) man erhält längere Funken, wenn die kleine Kugel positiv elektrisch ist,

2) man erhält längere Funken, wenn die große Kugel die vertheilende und die kleine die vertheilte ist.

Wenn die kleine Kugel Elektricität in Form von Büscheln entladet, so sind die Büschel weit zahlreicher, und ein jeder scheint viel weniger elektrische Kraft fortzuführen, wenn die so entladene Elektricität negativ, als wenn sie positiv ist.

Dies scheint anzudeuten, daß die kleine Kugel zur Entladung eine stärkere Spannung erfordert, wenn sie positiv, als wenn sie negativ ist.

Um diesen wichtigen Punkt zu erläutern, stellte Faraday einen Apparat zusammen, der in Fig. 73 schematisch angedeutet ist: Eine Gabel *A*, eine große und eine kleine Kugel tragend, war mit dem Conductor der Maschine in Verbindung gesetzt; eine ganz gleiche Gabel ableitend berührt; die kleine Kugel einer jeden Gabel stand der großen der andern gegenüber. Die Zwischenräume zwischen *n* und *o* waren gleich. War der Conductor negativ, so ging die Entladung stets bei *n* vor sich, was nicht auffallen kann, weil die negative Ladung der vertheilenden kleinen Kugel bei *n* jedenfalls stärker ist, als die positive Ladung der vertheilten kleinen Kugel bei *o*. Hätte aber nun, bei positiver Ladung des Conductors die Entladung bei *o* stattgefunden, so hätte man daraus ersehen, daß die schwächere negative Ladung der vertheilten kleinen Kugel bei *o* sich leichter entladet, als die weit stärkere positive Ladung der vertheilenden kleinen Kugel bei *n*, es wäre dieß ein ent-

Fig. 73.

ſcheidender Beweis für die leichtere Entladung der negativen Elektricität geweſen. Ein ſo entſcheidendes Reſultat gaben aber die Verſuche nicht; als die Zwiſchenräume bei *n* und *o* gleich 0,9 Zoll und als ſie 0,6 Zoll waren, fand die Entladung ſtets bei *n* Statt, mochte nun der Conductor poſitiv oder negativ ſeyn.

Der Zwiſchenraum *n* wurde 0,79″, der bei *o* gleich 0,58 Zoll gemacht. War der Conductor poſitiv, ſo war die Entladung an beiden Stellen *n* und *o* gleich, war er aber negativ, ſo geſchahen die Entladungen meiſt bei *n*, was allerdings darauf hindeutet, daß die kleine Kugel im negativen Zuſtande etwas leichter entladet, als im poſitiven, doch iſt dies Reſultat durchaus nicht entſcheidend.

Eine ähnliche Vorrichtung, wie die Fig. 73, wurde innerhalb eines Glasgefäßes angebracht, welches mit verſchiedenen Gaſen gefüllt werden konnte. Bei gleichen Zwiſchenräumen bei *n* und *o* erhielt Faraday für Kohlenſäure ganz entſchiedene Reſultate. Als der Conductor poſitiv war, fand die Entladung meiſt bei *o*, als er negativ war, ſtets bei *n* Statt, hier war alſo die negative Entladung entſchieden die leichtere; faſt eben ſo entſchieden zeigte ſich das Uebergewicht der negativen Entladung in Steinkohlengas. In Luft und Sauerſtoff zeigt ſich die größere Leichtigkeit der negativen Entladung ziemlich zweifelhaft, bei Stickſtoff und Waſſerſtoff zeigte ſich ſogar einige Wahrſcheinlichkeit für das entgegengeſetzte Verhalten.

Schon Belli hat Verſuche angeſtellt, aus welchen hervorgeht, daß die negative Elektricität leichter in Luft entweicht, als die poſitive (P. A. XXXX. 73).

Nachdem er einen Quadranten-Elektrometer auf einen horizontalen iſolirten Conductor befeſtigt und darauf poſitiv elektriſirt hatte, fand er im Mittel aus drei Verſuchen, daß das Elektrometer, um von 20° auf 10° zu ſinken, eine Zeit von 10 Minuten brauchte; mit negativer Elektricität waren dagegen, um dieſelben 10° zu durchſinken, nur 4,5 Minuten erforderlich.

81 **Funken in verſchiedenen Gaſen.** Die Erſcheinungen bei den Funken in verſchiedenen Gaſen ſind oft beobachtet und beſchrieben worden. Auch Faraday hat Verſuche über dieſen Gegenſtand angeſtellt und in ſeiner 12ten Reihe von Experimentalunterſuchungen beſchrieben (P. A. XLVII. 536).

Die Gaſe waren unter dem Druck der Atmoſphäre; die Funken ſchlugen zwiſchen Meſſingkugeln über.

In Luft, ſagt Faraday, haben die Funken jenes intenſive Licht und jene blaue Farbe, welche ſo bekannt ſind; und wenn die übergehende

Elektricitätsmenge nicht groß iſt, haben ſie oft ſchwache oder dunkle Stellen in ihrem Lauf.

In Stickgas ſind die Funken ſehr ſchön, im Allgemeinen von gleichem Anſehn, wie in Luft, doch entſchieden von mehr blauer und purpurrother Farbe, und, wie es Faraday ſchien, merkwürdig laut.

In Sauerſtoff waren die Funken weißer, als in Luft oder Stickgas, doch nicht ſo glänzend.

In Waſſerſtoff hatten ſie eine feine Carmoiſinfarbe; das Geräuſch war in dieſem Gaſe ſehr ſchwach.

In Kohlenſäure war die Farbe der in Luft ähnlich, doch mit Beimiſchung von etwas Grün. Die Funken waren von merkwürdig unregelmäßiger Geſtalt, mehr als in gemeiner Luft.

In Salzſäuregas war der Funken faſt weiß, durch und durch gleich hell, nirgends jene dunklen Stellen zeigend, welche in Luft, Stickgas u. ſ. w. vorkommen.

In Steinkohlengas war der Funken zuweilen grün, zuweilen roth, zuweilen an einer Stelle grün, an einer andern roth. Auch kommen in der Linie des Funkens ſehr plötzlich dunkle Stellen vor.

Die Funken können in weit dichteren Mitteln als die Luft, z. B. in Terpentinöl, Baumöl, Harz, Glas, Wallrath, Waſſer ꝛc. erhalten werden.

Büſchel. Die wichtigſten thatſächlichen Bemerkungen, welche Fara- 82
day in Beziehung auf Büſchel gemacht hat, dürften wohl folgende ſeyn. (P. A. XLVII.)

Büſchel und Funken gehen allmälig in einander über. (Faraday nennt den elektriſchen Lichtbüſchel einen Funken gegen Luft.) Macht man den Conductor einer guten Elektriſirmaſchine poſitiv elektriſch, ſo kann man an einer kleinen, an dieſem Conductor befeſtigten Kugel ſehr ſchöne Uebergänge von Funken und Lichtbüſcheln erhalten. Die von van Marum (Beſchreibung der großen Maſchine im Taylor'ſchen Muſeum; deutſche Ueberſetzung von 1786. Tab. III. Fig. 1), Harris (phil. Trans. 1834 pag. 243) und andern gelieferten Abbildungen langer und kräftiger Funken zeigen auch dieſelben Erſcheinungen (1448) (nämlich eine Veräſtelung des Funkens, durch welche eben der Uebergang zum Büſchel gemacht wird).

Wenn von einem iſolirten Leiter, der mit dem poſitiven Conductor der Elektriſirmaſchine verbunden iſt, ein 0,3 Zoll dicker Metallſtab abwärts von der Maſchine hervorragt, deſſen Ende abgerundet oder mit einer kleinen Kugel verſehen iſt, ſo giebt er gewöhnlich gute Luftbüſchel, oder wenn die Maſchine nicht in rechter Wirkſamkeit iſt, läßt ſich die Bildung der Büſchel durch verſchiedene Mittel befördern; ſo kann man die Hand oder

irgend eine groſse leitende Fläche jenem Ende nähern, oder man kann das Ende kleiner und von ſchlecht leitender Subſtanz, z. B. Holz nehmen, oder von dem Conductor der Maſchine auf einen zweiten, welcher das büſchelgebende Ende trägt, die Elektricität in Funken übergehen laſſen, oder endlich die Luft um das Stabende verdünnen (1425).

Daß der Büſchel keine continuirliche Entladung ſey, geht ſchon daraus hervor, daß man allmälige Uebergänge von Funken in Büſcheln nachweiſen kann. Bei richtigem Größenverhältniß der kleinen Kugel zu der Kraft der Maſchine erhält man Büſchel, in welchen man unmittelbar ſieht, daß er aus raſch einander folgenden ſtark veräſtelten Funken beſteht; wirkt nun die Maſchine noch kräftiger, oder ſetzt man bei unveränderter Wirkſamkeit der Maſchine eine noch kleinere Entladungskugel auf, ſo erhält der Büſchel ein mehr gleichförmiges Anſehn, welches Faraday ſehr gut mit folgenden Worten beſchreibt: »Ein kurzer kegelförmiger heller Theil ſchießt geradezu von der Mitte des Knopfes aus, und breitet ſich in einem kleinen Abſtande von der Kugel plötzlich in einen breiten Büſchel von blaſſen Zweigen aus, die in zitternder Bewegung ſind, begleitet von einem leiſen kniſternden Geräuſche (1426).

Auf den erſten Blick ſcheint ein ſolcher Büſchel zuſammenhängend zu ſeyn, allein Wheatſtone hat gezeigt, daß er aus einer Reihe intermittirender Entladungen beſteht (P. A. XXXIV. 469), was ſich wohl bei dem allmäligen Uebergang von Funken in Büſchel erwarten ließ. Faraday giebt eine ganz einfache Methode an, die continuirlich ſcheinenden Büſchel in ſeine elementaren Theile ohne Hülfe des Wheatſtone'ſchen rotirenden Spiegelapparates zu zerlegen, er ſagt nämlich: wenn man das Auge nicht durch eine Bewegung des Kopfes, ſondern des Augapfels ſelbſt raſch quer durch die Richtung des Büſchels führt, indem man ſtandhaft erſt 10 bis 15 Grad darüber und dann eben ſoviel darunter wegſieht, ſo löſ't ſich der allgemeine Büſchel in eine Anzahl beſonderer Büſchel auf (1427). Mir hat dieſe Zerlegungsmethode nicht recht gelingen wollen.

Bei Anwendung einer kleineren Kugel wird der allgemeine Büſchel kleiner, und das Geräuſch, obwohl ſchwächer, doch continuirlicher. Bei Auflöſung in ſeine elementaren Beſtandtheile zeigen ſie ſich dann in weit kürzern Intervallen auftretend

Bei Anwendung eines Drahtes mit rundem Ende wird der Büſchel noch kleiner, aber immer noch in ſucceſſiven Entladungen trennbar. Das Geräuſch, obwohl ſchwächer, wird höher im Klang und ein deutlicher muſikaliſcher Ton.

In der That entſpringt das Geräuſch aus dem wiederholten Laut einer jeden einzelnen Entladung, und da dieſe unter gewöhnlichen Umſtänden in faſt gleichen Zwiſchenräumen auftreten, ſo entſteht ein beſtimmter Ton,

deſſen Höhe mit vermehrter Schnelligkeit und Regelmäßigkeit der Entladung ſteigt.

Werden immer dünnere Drähte angewandt, ſo werden immer kleinere Lichtbüſchel erhalten, bis ſie endlich kaum noch als Büſchel erkannt werden können. So lange indeſſen noch ein Geräuſch gehört wird, läßt ſich die Entladung auch durch das Auge als intermittirend erkennen; ſobald das Geräuſch verſchwindet, wird das Licht continuirlich, der Büſchel geht in ein Glimmen über.

Für die, welche nicht gewohnt ſind, das Auge in der oben beſchriebenen Weiſe zu gebrauchen, iſt Wheatſtones Apparat mit dem rotirenden Spiegel anzuwenden. Ein anderes treffliches Verfahren (den Büſchel zu zerlegen) beſteht darin, daß man den Lichtbüſchel am Ende eines Stabes erzeugt, den man in der Hand dem Conductor der Maſchine gegenüber hält und darauf raſch von einer Seite zur andern bewegt, während das Auge ruhig bleibt (1428 — 1433).

Büſchel in verſchiedenen Gaſen. Die Verſuche über Büſchel in ver- 83
ſchiedenen Gaſen ſtellte Faraday mit Meſſingſtäben an, die ungefähr $\frac{1}{4}$ Zoll dick waren und deren zugerundete Enden ſich in einer das Gas enthaltenden Glaskugel von 7 Zoll Durchmeſſer einander gegenüberſtanden. Der eine dieſer Stäbe war mit dem Conductor verbunden, der andere ableitend berührt. (P. A. XLVII. 553.)

Luft. — Unter gewöhnlichem Druck ſind in Luft ſchöne poſitive Büſchel von dem wohlbekannten Purpurlicht leicht zu erhalten. In verdünnter Luft ſind die Verzweigungen ſehr lang und die Kugel ausfüllend, das Licht iſt ſehr ſtark und von ſchöner Purpurfarbe, zuweilen mit einem Stich ins Roſenrothe.

Sauerſtoff. — Unter gewöhnlichem Druck iſt der Büſchel ſehr dicht und zuſammengedrückt, von matt weißlicher Farbe. In verdünntem Sauerſtoff ſind Geſtalt und Anſehen beſſer, die Farbe etwas purpurn, doch alle Eigenſchaften ſehr ärmlich in Vergleich zu denen in Luft.

Stickſtoff giebt an der poſitiven Fläche die Büſchel weit leichter als irgend ein anderes Gas, ſie ſind in Geſtalt, Licht und Farbe faſt immer ſchön, in verdünntem Stickgas ſogar herrlich; ſie übertreffen, was entwickelte Lichtmenge betrifft, die Entladungen in jedem andern Gaſe.

Waſſerſtoff giebt unter gewöhnlichem Druck einen beſſeren Büſchel als Sauerſtoff, doch keinen ſolchen wie Stickſtoff; die Farbe iſt grünlich. In verdünntem Waſſerſtoff ſind die Verzweigungen, was Geſtalt und Deutlichkeit betrifft, ſehr ſchön, aber blaß von Farbe; mit einem weichen ſammetartigen Anſehn und gar nicht gleich denen im Stickgas. Bei höchſt verdünntem Zuſtand des Gaſes iſt die Farbe des Lichtes ein blaſſes Graugrün.

Steinkohlengas. — Die Büſchel ſind etwas ſchwierig zu erzeugen; ſie ſind kurz und ſtark, gewöhnlich von grüner Farbe. In verdünntem Steinkohlengas ſind die Formen beſſer, aber das Licht iſt ſehr ſchwach und die Farbe grau.

Kohlenſäure liefert unter gewöhnlichem Druck ſehr ärmliche Büſchel. In verdünnter Kohlenſäure iſt der Büſchel beſſer von Geſtalt, doch ſchwächer an Licht, von matt grünlicher oder purpurrother Farbe.

Salzſäuregas. Unter gewöhnlichem Druck hält es ſchwer, einen Büſchel in dieſem Gas zu bekommen. Bei allmäliger Vergrößerung des Abſtandes zwiſchen den zugerundeten Enden verſchwinden die Funken plötzlich, wenn der Abſtand ungefähr einen Zoll beträgt und die dann noch in der Kugel durch das Gas ſtattfindende Entladung iſt eine ruhige und dunkle. Hin und wieder iſt zwar auf Augenblicke ein kurzer Büſchel zu erhalten, allein er verſchwindet wiederum ſehr ſchnell. Selbſt bei Anwendung eines intermittirenden Funkenſtroms aus der Maſchine erhielt man nur ſchwierig Büſchel und zwar ſehr kurze; unterdeſſen gingen prachtvolle Büſchel von verſchiedenen Stellen der Maſchine in die umgebende Luft über. Beim Verdünnen des Gaſes ward die Bildung des Büſchels erleichtert, allein er war doch von kleiner, unterſetzter Geſtalt, ſehr arm an Licht und ſehr ähnlich am poſitiven und negativen Stabende. Bei noch größerer Verdünnung des Gaſes werden einige wenige große Verzweigungen von blaßbläulicher Farbe erhalten, die denen im Stickgas äußerſt ungleich waren.

84 **Büſchel in dichteren Mitteln.** Nicht blos in Luft und Gaſen, ſondern auch in weit dichteren Mitteln laſſen ſich elektriſche Lichtbüſchel erzeugen. Faraday erzeugte ſie im Terpentinöl (1452) am Ende eines Drahtes, welcher durch eine Glasröhre in das in einem Metallgefäß enthaltene Oel ging. Der Büſchel war jedoch klein und ſehr ſchwierig zu erhalten; die Verzweigungen waren einfach, ausgeſtreckt und ſtark von einander divergirend. Das Licht war außerordentlich ſchwach, ſeine Wahrnehmung erfordert ein völlig dunkles Zimmer. Wenn ſich in der Flüſſigkeit einige feſte Theilchen, wie Staub oder Seide befanden, ſo wurden die Büſchel leichter erhalten.

85 **Verſchiedenheit der poſitiven und negativen Büſchelentladung.** Von dem, was Faraday über dieſen Gegenſtand ſagt, hebe ich Folgendes hervor:

Bei der Büſchelentladung in Luft zeigt ſich ein großer Unterſchied zwiſchen der poſitiven und negativen Fläche. Dieſen Unterſchied bezeichnete man früher ſo, daß man ſagte »eine poſitiv geladene Spitze gäbe Büſchel in der Luft, eine negativ geladene einen

Stern. Dieß ist jedoch nur für schlechte Leiter oder für metallische Leiter wahr, die intermittirend geladen werden. Wenn Metallspitzen frei in die Luft hineinragen, ist das positive und negative Licht im Ansehn nicht so sehr verschieden.

Die Erscheinungen ändern sich mit den Umständen sehr, lassen sich indeß wohl so angeben:

Wenn ein Metalldraht mit rundem Ende in freier Luft zur Bildung der Büschel-Entladung gebraucht wird, so sind die Büschel bei negativer Ladung des Drahtes sehr ärmlich und klein in Vergleich zu denen bei positiver Ladung des Drahtes; oder wenn eine große mit der Elektrisirmaschine verbundene Metallkugel positiv geladen und ihr eine feine unisolirte Metallspitze allmälig genähert wird, so erscheint an dieser, so lange sie in beträchtlichem Abstande ist, ein Stern, der bei der Annäherung gegen die Kugel, obwohl heller werdend, seine Gestalt nicht ändert, bis er dicht an derselben angekommen ist; ist dagegen die Kugel negativ geladen, so erscheint an der Spitze bei bedeutendem Abstand ebenfalls ein Stern, wie zuvor allein bei größerer Annäherung bildet sich an der Spitze ein Büschel, der sich bis zur negativen Kugel ausdehnt und noch näher hört der Büschel auf und es schlagen Funken über.

Wie wir schon oben S. 191. gesehen haben, geht die Funkenentladung schon bei weit geringeren Entfernungen in Büschel über, wenn die Fläche, an welcher die Entladung anfängt (die kleinere Kugel oder das abgerundete Stabende) negativ als wenn sie positiv ist; schreiten wir aber weiter fort in der Reihe der Veränderungen, so finden wir, daß der positive Büschel lange vor der negativen in Glimmen übergeht.

Das Ende eines 0,3 Zoll dicken Messingstabes gab am Conductor frei in die Luft ragend bei negativer Ladung einen kurzen lauten Büschel; sowohl durch das Auge als auch durch das Ohr wurde ermittelt, daß die successiven Entladungen ungleich rascher auf einander folgten, als bei positiver Ladung des Stabes zu gleichem Grade.

Bei positiver Ladung des Stabes war es leicht, durch rascheres Drehen der Maschine den Büschel in ein Glimmen zu verwandlen, allein bei negativer Ladung ließ sich die Umwandlung des Büschels in Glimmen durchaus nicht bewirken.

Eine Spitze gegenüber dem negativen Büschel zeigte einen Stern, und bei größerer Annäherung bewirkte sie zunächst eine Abnahme des negativen Büschels in Gestalt und Geräusch und zuletzt ein gänzliches Aufhören desselben, so daß das negative Ende ruhig und finster ward, und doch noch zu entladen fortfuhr (1469).

Wurde das zugerundete Ende eines dünneren Drahtes dem negativen Büschel genähert, so zeigte es (durch Vertheilung positiv geworden)

bei 8 Zoll Abſtand ein ruhiges Glimmen, während der negative Büſchel fortbeſtand. Mehr genähert erhöhte ſich der Ton des negativen Büſchels, eine ſchnellere Intermittenz anzeigend; noch näher ſandte das poſitive Ende Veräſtelungen und deutliche Büſchel aus und zugleich zog ſich der negative Büſchel in ſeinen Seitenrichtungen zuſammen, eine eigenthümliche, ſchmale längliche Geſtalt, wie ein Haarpinſel annehmend; beide Büſchel waren gleichzeitig vorhanden, doch verſchieden im Anſehen und beſonders darin, daß die negativen Entladungen raſcher folgten als die poſitiven. Als zu demſelben Verſuch ein noch dünnerer poſitiver Draht gebraucht wurde, erſchien zuerſt an ihm ein Glimmen und dann ein Büſchel, der bei einer beſtimmten Entfernung dem negativen ganz gleich wurde (1470).

In Luft iſt bekanntlich der poſitive Büſchel der überwiegende. In Stickgas iſt er eben ſo groß und ſelbſt größer als in Luft. In Waſſerſtoff verliert der poſitive Büſchel etwas von ſeiner Ueberlegenheit, in dem er nicht ſo gut iſt wie in Stickgas und Luft, während der negative Büſchel nicht beeinträchtigt erſcheint. In Sauerſtoff iſt der poſitive Büſchel gedrungen und ärmlich, während der negative nicht verſchlechtert ſcheint; beide ſind ſo gleich, daß das Auge ſie häufig nicht unterſcheiden kann. In Steinkohlengas ſind die Büſchel ſchwierig hervorzubringen und der poſitive iſt nicht viel ausgezeichneter als der negative, weder bei gewöhnlichem noch bei niederm Druck. In Kohlenſäure findet dieſe Annäherung im Charakter ebenfalls Statt. In Salzſäuregas iſt der poſitive Büſchel ſehr wenig beſſer als der negative.

86 **Glimmentladung.** (P. A. XLVIII. 424.) Das Glimmen ſcheint von einer raſchen und faſt ununterbrochenen Ladung der Luft dicht bei dem Conductor abzuhängen. Niemals vermogte Faraday das Glimmen in ſichtbar intermittirende Elementarentladungen zu zerlegen.

Das Glimmen entſteht

1) durch Verkleinerung der ladenden Fläche. Am Ende eines Metallſtabs mit ſtumpfer coniſcher Spitze läßt ſich um ſo leichter ein phosphorescirendes ſtetiges Glimmen erhalten, je dünner ſie iſt;

2) durch Verſtärkung der Kraft der Maſchine. Zugerundete Enden, welche nur Lichtbüſchel geben, wenn die Maſchine ſchwach wirkt, liefern das Glimmen leicht, wenn die Maſchine in gutem Gang iſt;

3) durch Verdünnung der Luft. Eine Meſſingkugel von $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmeſſer, die unter der Glocke einer Luftpumpe vertheilend poſitiv gemacht wurde, bedeckte ſich zum Theil mit einem Glimmen, als der Luftdruck auf 4,4 Zoll verringert worden war. Durch eine geringe Ajuſtirung ließ ſich die Kugel ganz mit dieſem Licht bekleiden. Bei Anwen-

dung einer Meſſingkugel von 1¼ Zoll Durchmeſſer, die durch eine vertheilende negative Spitze vertheilt poſitiv gemacht wurde, war die Erſcheinung ſehr ſchön. Das Glimmen verbreitete ſich über die ganze poſitive Kugel und nahm allmälig an Helligkeit zu, bis es zuletzt ſehr leuchtend war; auch richtete es ſich auf, gleich einer ſchwachen Flamme, von der Höhe eines halben Zolls und mehr.

Das negative Glimmen in der Luft unter gewöhnlichem Druck zu erhalten, iſt ſchwierig; ja es iſt noch zweifelhaft, ob der ſogenannte negative Stern ſelbſt auf feinen Spitzen nicht ein ſehr reducirter, aber noch intermittirender Lichtbüſchel oder ein eigentliches Glimmen iſt.

In verdünnter Luft läßt ſich das negative Glimmen leicht erhalten. Wenn die zugerundeten Enden zweier etwa 0,2 Zoll dicker Metallſtäbe in verdünnter Luft etwa 4 Zoll von einander abſtehen, dann kann man das Glühen leicht auf beiden Stäben erhalten, und nicht blos an den Enden, ſondern noch ein oder zwei Zoll dahinter. Auch eine Kugel ließ ſich in verdünnter Luft mit negativem Glimmen bekleiden, ſie mogte nun vertheilend oder vertheilt ſeyn.

Das Glimmen zeigt ſich in allen Gaſen, welche Faraday bisher unterſuchte. Er glaubt es auch in Terpentinöl erhalten zu haben, doch war es jedenfalls ſehr matt und gering.

Das Glimmen iſt ſtets von einem Winde begleitet, der entweder von dem glimmenden Theile weg, oder auf ihn zubläſt; das erſtere iſt jedoch das häufigſte. Wenn man macht, daß der leichte und regelmäßige Zutritt der Luft zu einem das Glimmen zeigenden Theile geſtört oder verhindert wird, ſo hört das Glimmen auf.

Häufig gelingt es, die Büſchel, welche ein Stabende giebt, dadurch in Glimmen zu verwandeln, daß man an dieſem Ende die Bildung eines Luftſtroms unterſtützt.

Dunkle Entladung. Wenn man einem auf dem Conductor der 87
Maſchine aufgeſteckten abgerundeten Metalldraht einen ähnlichen in einiger Entfernung entgegenhält, ſo iſt es leicht, an beiden Stabenden eine Lichterſcheinung zu erhalten, während der Zwiſchenraum zwiſchen dem poſitiven und negativen Licht dunkel bleibt; außer dieſen ſehr häufig vorkommenden Phänomen macht aber Faraday noch auf einen ganz beſonderen Fall dunkler Entladung aufmerkſam.

Zwei Meſſingſtäbe von 0,3 Zoll Dicke waren von der gegenüberliegenden Seite her in eine Glaskugel eingelaſſen und mit ihren Enden in Berührung gebracht; die Luft in der Kugel war ſtark verdünnt. — Nun wurde eine elektriſche Entladung aus der Maſchine durch ſie hindurchgeleitet, und während dieſe fortfuhr, wurden die Enden von einander getrennt. Im Moment der Trennung erſchien auf dem Ende des negativen

Stabes ein andauerndes Glimmen, während das poſitive Ende dunkel blieb. Bei Vergrößerung der Entfernung erſchien ein purpurfarbener Streif oder Nebel auf dem Ende des poſitiven Stabes und ſchritt vorwärts direct auf den negativen Stab los; er verlängerte ſich bei Vergrößerung des Zwiſchenraums, vereinigte ſich aber niemals mit dem negativen Glimmen, indem ſtets ein kurzer dunkler Raum dazwiſchen blieb. Dieſer dunkle Raum von ungefähr $1/16$ bis $1/20$ Zoll war anſcheinend unveränderlich in Ausdehnung und Lage in Bezug auf den negativen Stab; auch erlitt das negative Glimmen keine Veränderung. Der Effect war auch gleich, das negative Ende mogte vertheilend oder vertheilt ſeyn.

Mit Kugeln ſtatt der abgerundeten Stabenden wurden ähnliche Erſcheinungen erhalten.

88 **Fortführende Entladung.** Beim Funken, beim Büſchel und wohl auch beim Glimmen wird das Di-elektricum durchbrochen, und deshalb nennt Faraday dieſe Entladungsformen auch die zerreißende Entladung. Bei den Lichtbüſcheln und noch mehr beim Glimmen tritt aber noch eine weitere Entladungsform ein, welche ſich durch den ſogenannten elektriſchen Wind kund giebt, und welche darin beruht, daß die Theilchen des Di-elektricums, welche zunächſt mit dem geladenen Leiter (alſo etwa dem elektriſchen Stabende) in Berührung ſind, eine elektriſche Ladung annehmen und in Folge deſſen abgeſtoßen werden, und ſo die Ladung des Leiters mit fortführend, denſelben entladen.

Warum eine Spitze für die Erzeugung ſolcher Ströme ſo außerordentlich günſtig ſeyn müſſe, iſt einleuchtend. An einer ſolchen Spitze erreicht die Ladung der Luft zuerſt die erforderliche Intenſität, von ihm weichen die geladenen Theilchen zurück, und die mechaniſche Kraft, welche ſie der Luft einprägt, um einen Strom zu bilden, wird in jeder Hinſicht begünſtigt durch die Geſtalt und Lage des Stabes, deſſen Ende die Spitze iſt.

Wenn Staubtheilchen in der Luft ſchweben, ſo wird dadurch die Fortführung der Elektricität begünſtigt.

Bei Anwendung von Terpentinöl als Di-elektricum läßt ſich die Wirkung und der Lauf kleiner leitender fortſchaffender Theilchen gut beobachten.

Beim Terpentinöl wurde eine ſehr auffallende Erſcheinung beobachtet, von der es noch zweifelhaft iſt, ob ſie von dem Fortführungsvermögen der Theilchen in demſelben oder von irgend einer andern Wirkung derſelben herrührt. — In einem Glaßgefäße, auf deſſen Boden eine große uniſolirte Silberſcheide lag, befand ſich eine Portion dieſes Oels, in welches oben ein elektriſirter Metallſtab mit rundem Ende eintauchte. Die Iſolation war ſehr gut. Als man aber den Stab mit einem daran hängenden Tropfen Gummiwaſſer eintauchte und dann elektriſirte, ſtrömte das Gummiwaſſer ſogleich in feinen Fäden fort und zerſtreute ſich raſch im Ter-

pentinöl. Während der Zeit, daß vier Tropfen ſich auf dieſe Weiſe mit dem Di-elektricum vermengt hatten, hatte das Oel größtentheils ſein Iſolationsvermögen verloren und die Flüſſigkeit war ſchwach getrübt. Auf bloße Filtration durch Papier erlangte es ſeine frühere Klarheit wieder und iſolirte nun ſo gut wie vorher. Leitende flüſſige Enden ſtatt ſtarrer Spitzen erläutern ſehr ſchön die Bildung von Strömen, ſo wie deren Effecte und Einflüſſe auf Erhöhung der Zuſtände, unter denen ſie begonnen. Es ſey das zugerundete Ende eines ungefähr 0,3 Zoll dicken Stabes in freier Luft abwärts gerichtet, es ſey amalgamirt und es hänge daran ein Tropfen Queckſilber. Nun elektriſire man es kräftig. Das Queckſilber wird das Phänomen des Glimmens zeigen, ein Luftſtrom wird längs des Stabes fortfließen und aus dem Queckſilber gerade heruntergehn. Die Geſtalt des Metalltropfens wird dadurch etwas geändert, er wird etwas verlängert, an den Seiten alſo wird ſeine Krümmung etwas vermindert, während die Krümmung am unteren Ende etwas zunimmt.

Fig. 74.

Man nehme nun ſtatt des Queckſilbertropfens einen Tropfen ſtarker Chlornatriumlöſung. Bei Elektriſirung deſſelben wird wohl ein Theil zerſtreut, allein wenn die Elektricität nicht zu ſtark iſt, bleibt das meiſte und bildet einen coniſchen Tropfen (Fig. 74), begleitet von einem ſtarken Winde. Wenn Glimmen da iſt, hat der Tropfen eine glatte Oberfläche, bildet ſich aber ein kurzer ſchwacher Büſchel, ſo iſt eine kleine zitternde Bewegung in der Flüſſigkeit ſichtbar.

Mit einem Waſſertropfen waren die Erſcheinungen von gleicher Art, am beſten erhielt man ſie, wenn eine Portion Gummiwaſſer oder Syrup an einer Kugel hafteten, Fig. 75. Drehte man die Maſchine langſam, ſo bildete ſich ein ſchöner, großer, ruhiger, coniſcher Tropfen mit concavem Profil und kleinem zugerundetem Ende, an dem das Glimmen erſchien, während von der Spitze des Kegels ein ſteter Wind ausging, von hinreichender Stärke, um die Oberfläche von gegenübergehaltenem uniſolirtem Waſſer herabzudrücken. Drehte man die Maſchine raſcher, ſo wurde ein Theil des Waſſers fortgetrieben. Der kleine zugeſpitzte Rückſtand war etwas rauh auf der Oberfläche und man hörte das Geräuſch ſucceſſiver Büſchel-Entladungen. Bei noch mehr Elektricität ward noch mehr Waſſer zerſtreut; das was zurückblieb, ward wechſelsweiſe verlängert und zuſammengezogen; man hörte ſtarke Büſchel-Entladung. Wenn Waſſer von unten her dem Tropfen genähert wurde, zeigte es nicht mehr den regelmäßigen ſtarken, zuſammengezogenen Luftſtrom wie zuvor; und wenn die Entfernung

Fig. 75.

eine ſolche war, daß Funken überſchlugen, ward das Waſſer darunter eher angezogen als fortgeſtoßen und der Luftſtrom hörte auf.

Daß der Tropfen, wenn er von Waſſer oder einer beſſer leitenden Flüſſigkeit iſt, hauptſächlich durch den Luftſtrom ſeine Kegelgeſtalt bekommt, läßt ſich folgendermaßen zeigen. Man halte eine ſcharfe Spitze unter den coniſchen Tropfen, ſogleich verliert er ſeine Kegelform, zieht ſich zuſammen, wird rund; der Luftſtrom aus ihm hört auf und wird durch einen Strom aus der Spitze erſetzt, welcher, wenn ſie dem Tropfen nahe genug gehalten wird, denſelben ſeitwärts bläſt.

Tropfen von ſchlechteren Leitern, wie Oel oder Terpentinöl, werden zu Fäden ausgeſponnen und fortgeführt, nicht allein weil die auf ihrer Oberfläche dahinſtreichende Luft ſie wegfegen hilft, ſondern auch weil ihre iſolirenden Theilchen denſelben Ladungszuſtand wie die Luft annehmen, und da ſie unfähig ſind, ſich gegen die Lufttheilchen in ſtärkerem Grade zu entladen, wie dieſe unter ſich, ſo werden ſie durch dieſelben Urſachen fortgeführt, welche dieſe wegtreiben. Eine ähnliche Erſcheinung mit geſchmolzenem Siegellack an einer Metallſpitze bildet einen alten und wohl bekannten Verſuch.

Ein Tropfen Gummiwaſſer in der entleerten Glocke der Luftpumpe erlitt bei der Elektriſirung keine merkliche Aenderung ſeiner Geſtalt, was zum Theil von der geringen Stärke der Luftſtröme, zum Theil daher rühren mag, daß der Spannungszuſtand der Elektricität auf die Kugel in verdünnter Luft nicht ſo groß wird, wie in verdichteter.

Damit man mich nicht mißverſtehe, ſagt Faraday, muß ich bemerken, daß ich den Kegel nicht für alleinig gebildet durch die Luftſtröme anſehe. Wenn der Tropfen aus ſchlecht leitender Subſtanz beſteht, rührt ein Theil des Effects von dem elektriſirten Zuſtand der Theilchen her.

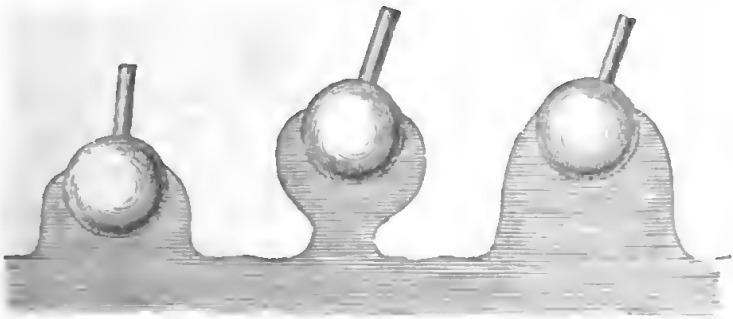
In dichten iſolirenden Di-elektricis zeigen die Ströme einen außerordentlichen Grad von mechaniſcher Kraft. Bringt man z. B. wohl rectificirtes Terpentinöl in ein Glasgefäß, taucht an verſchiedenen Orten in daſſelbe zwei Drähte, von denen der eine mit dem Conductor der Maſchine verbunden, der andere ableitend berührt iſt, und dreht man die Maſchine, ſo wird die Flüſſigkeit durch ihre ganze Maſſe hin in heftige Bewegung gerathen, während ſie zugleich an dem Draht der Maſchine 2, 3, 4 Zoll aufſteigt und von ihm in Strahlen in die Luft ſchießt.

Ein Tropfen Queckſilber, der an einer amalgamirten Meſſingkugel hing, behielt ſeine Geſtalt in der Luft faſt unverändert, wenn er aber in Terpentinöl getaucht ward, ſo wurde er ſehr ſpitz und es konnten ſogar Queckſilbertheilchen ausgeſponnen und fortgeführt werden. Die Geſtalt des flüſſigen Metalls war gerade ſo wie die von Syrup in Luft.

Gießt man auf den Boden eines Gefäßes Queckſilber, welches man mit dem Conductor der Elektriſirmaſchine verbindet, gießt man darauf eine an-

dere Flüſſigkeit, etwa Terpentinöl, ſo beobachtet man, wenn man einen mit einer Kugel von $^3/_4$ Zoll Durchmeſſer endigenden Stab in die Flüſſigkeit eintaucht, ſehr auffallende Erſcheinungen. Zieht man die Kugel wieder in die Höhe, ſo daß ſie beinahe zum Niveau der Flüſſigkeit heraustritt, ſo bleiben große Portionen derſelben an ihr haften, Fig. 76. Auch bei weiterer Hebung der Kugel bleibt ſie noch durch eine Säule Terpentinöl mit dem

Fig. 76. Fig. 77. Fig. 78.



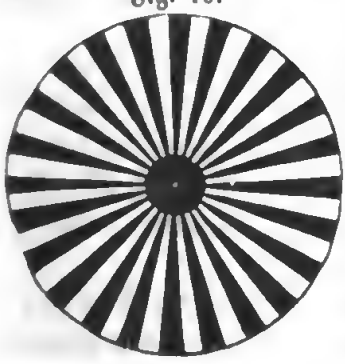
Gefäße verbunden Fig. 77. Setzt man die Maſchine in größere Thätigkeit, ſo wird das Gehobene maſſiger und ſteigt auch höher, dabei die Geſtalt Fig. 78 annehmend.

Bei dieſen Erſcheinungen zeigt ſich ein ſehr merkwürdiger Umſtand, nemlich, daß eine poſitiv geladene Kugel eine weit höhere und breitere Säule hebt als eine negativ geladene.

Geſetze der Lichtſtärke des elektriſchen Funkens. Unter dem 89
Titel: »Etudes de photometrie électrique, publicirt Maſſon im 14ten Bande (1845, 3ter Theil) der annales de chimie et de physique p. 129 ſeine Unterſuchungen über die Lichtſtärke des elektriſchen Funkens.

Die gewöhnlichen Photometer laſſen ſich nur für permanente und nicht für momentane Lichtquellen in Anwendung bringen, zur Meſſung der Lichtſtärke des elektriſchen Funkens, welcher nur eine momentane Erleuchtung giebt, mußte alſo Maſſon auf ein neues photometriſches Princip ſinnen. In der That hat er ſeine Aufgabe auf eine ſehr ſinnreiche Weiſe gelöſt.

Fig. 79.



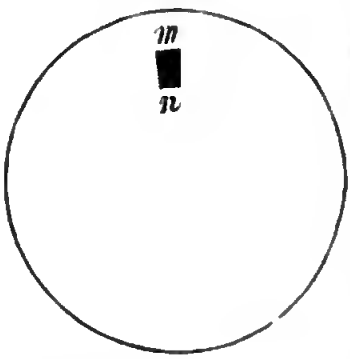
Wenn eine Scheibe, welche in gleichgroße, abwechſelnd weiße und ſchwarze Sectoren getheilt iſt, wie Fig. 79, ſo wird man bei raſcher Rotation derſelben die einzelnen Sectoren nicht unterſcheiden können, wenn die Scheibe durch eine conſtante Lichtquelle beleuchtet iſt; wird aber außerdem die Scheibe momentan durch einen elektriſchen Funken erleuchtet, ſo werden die Sectoren der rotirenden Scheibe wieder ſichtbar, und zwar um ſo mehr, je heller

der elektriſche Funken iſt. Schwächt man aber die Erleuchtung durch den elektriſchen Funken allmälig, während die Erleuchtung durch die beſtändige Lichtquelle ſtets dieſelbe bleibt, ſo wird man zu einem Punkt kommen, wo die Sectoren eben aufhören unterſcheidbar zu ſeyn, und in dieſem Falle iſt die Stärke der Erleuchtung durch den elektriſchen Funken ein beſtimmter Bruchtheil der Erleuchtung durch die conſtante Lichtquelle, deſſen Größe von der Individualität des betrachtenden Auges abhängt.

Sehen wir zunächſt, auf welche Weiſe dieſe Gränze die Unterſcheidbarkeit ausgemittelt wurde.

Auf einer weißen Scheibe, Fig. 80, ſey ein Stück eines Sectors geſchwärzt; wird die Scheibe raſch um ihren Mittelpunkt gedreht, ſo wird das geſchwärzte Stück einen Ring bilden, welcher etwas dunkler von dem weißen Grunde der Scheibe abſticht; dieſer Ring wird nun um ſo blaſſer erſcheinen, je ſchmäler das ſchwarze Sectorenſtück iſt, und wenn man den Verſuch mit einer ganzen Reihe ſolcher Scheiben anſtellt, von denen jede folgende ein etwas ſchmäleres ſchwarzes Sectorenſtück *m n* hat, ſo wird man endlich zu einer ſolchen kommen, bei welcher der dunkle Ring eben aufhört, unterſcheidbar zu ſeyn.

Fig. 80.



Nehmen wir an, dies ſey der Fall, wenn die Breite des Sectorenſtücks $^1/_{100}$ vom ganzen Kreisumfang beträgt, ſo iſt klar, daß die Helligkeit des Ringes um $^1/_{100}$ der Helligkeit der Scheibe geringer iſt, als dieſe, das Auge kann alſo in dieſem Fall eine Erleuchungsdifferenz von $^1/_{100}$ nicht mehr unterſcheiden.

Maſſon machte ſeine Verſuche mit Scheiben, auf denen die Breite des Sectorenſtücks $^1/_{50}$, $^1/_{60}$, $^1/_{70}$, $^1/_{80}$, $^1/_{90}$, $^1/_{100}$, $^1/_{110}$, $^1/_{120}$ des ganzen Umfangs betrug, und fand mit Hülfe derſelben für ſchwache Augen, daß eine Erleuchtungsdifferenz von $^1/_{50}$ bis $^1/_{70}$ die Gränze des Wahrnehmbaren iſt. Bei gewöhnlichen Augen iſt dieſe Gränze $^1/_{80}$ bis $^1/_{100}$, für ſehr gute Augen $^1/_{100}$ bis $^1/_{120}$.

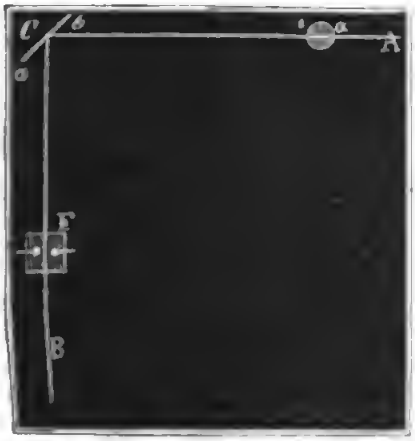
Die Intenſität der Erleuchtung variirend, fand Maſſon, daß die Senſibilität für ein und daſſelbe Individuum ſich nicht ändert, wenn ſie (die Erleuchtung) nur hinreichend iſt, um gewöhnlichen Druck zu leſen.

Die rotirende Scheibe mit farbigem Lichte beleuchtend, fand Maſſon ferner, daß die Gränze der Unterſcheidbarkeit der Beleuchtungsdifferenz von der Farbe unabhängig iſt.

Gehen wir nun zum eigentlichen Gegenſtand der Unterſuchung Maſſon's ſelbſt über. Die Anordnung ſeiner Verſuche war im Weſentlichen folgende.

Eine rotirende Scheibe *a b* Fig. 81 (die Rotation war durch ein Uhrwerk hervorgebracht), welche in der Weiſe in weiße und ſchwarze Sectoren getheilt war, wie Fig. 79 zeigt, war in der Richtung von *A C* her durch das conſtante Licht einer Lampe *L* erleuchtet, welche in der Richtung dieſer Linie verſchiebbar war. Dieſe Lampe befand ſich in einem ſchwarzen Kaſten, ſo daß ſie nur durch eine Röhre ihr Licht auf die rotirende Scheibe werfen konnte. In der Richtung der Linie *B C* war ein Funkenmikrometer *F* verſchiebbar. Die eine Kugel dieſes Funkenmikrometers war mit der oberen, die andere Kugel deſſelben mit der unteren Belegung einer horizontalen Glastafel in leitender Verbindung; der Funken ſchlug allemal zwiſchen den beiden Kugeln des Funkenmikrometers über, ſobald die Ladung der Scheibe eine gewiſſe Gränze erreicht hatte, welche von der Entfernung der Kugeln des Funkenmikrometers abhing.

Fig. 81.



Zunächſt überzeugte ſich Maſſon davon, daß auch für das momentane Licht des elektriſchen Funkens das Geſetz gilt, daß die Stärke der Erleuchtung im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung ſteht.

Bei einer beſtimmten Entfernung dieſer Lampe von der Scheibe *a b*, wurde der Funkenmikrometer allmälig von der Scheibe entfernt, bis beim Ueberſchlagen des Funkens die Sectoren der rotirenden Scheibe eben nicht mehr unterſcheidbar waren, und dann die Entfernung des Funkens von der Scheibe beſtimmt. Nun wurde die Lampe weiter fortgerückt, und derſelbe Verſuch mit unveränderter Entfernung der Kugeln des Funkenmikrometers wiederholt. Die folgende Tabelle giebt die Reſultate einer ſolchen Verſuchsreihe. Z bedeutet die Entfernung der Lampe, Y die entſprechende Entfernung des Funkenmikrometers von der Mitte der Scheibe *a b*.

Z	Y	$\frac{Z}{Y}$
540mm	407mm	1,32
640	489	1,30
740	569	1,30
840	648	1,29
940	737	1,28
1040	826	1,25
	Mittel	1,29.

Da Z und Y ſtets in gleichem (wenigſtens ſehr nahe gleichem) Verhältniß wachſen, ſo iſt klar, daß mit wachſender Entfernung die Erleuchtung für beide Lichtquellen nach demſelben Geſetze abnimmt, daß alſo die Erleuchtung durch einen elektriſchen Funken ebenfalls dem Quadrat der Entfernung von demſelben umgekehrt proportional iſt.

Daſſelbe Reſultat gaben mehrere andere Verſuchsreihen, welche Maſſon ebenfalls in Tabellen zuſammengeſtellt hat; hier wie im Folgenden mag es genügen, zur Begründung eines jeden Geſetzes nur eine der vielen tabellariſch zuſammengeſtellten Verſuchsreihen anzuführen.

Die Werthe von Y, wie ſie in den Tabellen angeführt ſind, ſind ſtets das Mittel aus zwei Verſuchen. Nachdem einmal die Entfernung Y des Funkenmikrometers von der rotirenden Scheibe ermittelt worden war, bei welcher eben die Sectoren nicht mehr unterſchieden werden können, wurde der Funkenmikrometer der Scheibe wieder bedeutend genähert, und dann abermals bis zum Verſchwinden der Sectoren entfernt. Die beiden ſo ermittelten Werthe von Y differiren in den verſchiedenen Verſuchsreihen höchſtens um ein Centimeter, ein Beweis für die Schärfe, welche dieſe Beobachtungsmethode zuläßt.

90 **Variation der Lichtſtärke des Funkens bei veränderter Schlagweite.** Ueber dieſen Punkt ſtellte Maſſon ebenfalls mehrere Verſuchsreihen an; die folgende Tabelle enthält die Reſultate einer derſelben.

X	Y	$\frac{Y}{X}$
2,5mm	318mm	127
3,5	447	127
4,5	572	127
5,5	697	126
6,5	830	127
7,5	957	127
		Mittel 127.

X bezeichnet hier die Schlagweite, Y die entſprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe, bei welcher aber die Sectoren derſelben nicht mehr unterſchieden werden können, vorausgeſetzt, daß die conſtante Beleuchtung der rotirenden Scheibe von *A C* her während der ganzen Verſuchsreihe unverändert bleibt.

Aus der obigen Tabelle überſieht man leicht, daß die Schlagweite und die entſprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe ſtets in gleichem Verhältniß geändert werden müſſen, wenn die Beleuchtung der Scheibe dieſelbe bleiben ſoll. Alſo bei doppelter und dreifacher Schlagweite muß der Funken 2 mal, 3 mal ſo weit von der Scheibe entfernt werden, wenn ihre Erleuchtung durch die Funken ungeändert bleiben ſoll.

Durch Verdoppelung der Entfernung wird die Intensität der Erleuchtung 4 mal schwächer; sie bleibt jedoch ungeändert, wenn auch die Schlagweite verdoppelt wird, folglich muß bei doppelter Schlagweite die Lichtstärke des Funkens 4 mal größer seyn. Für n fache Entfernung ist die Erleuchtung durch den elektrischen Funken n^2 mal schwächer; sie bleibt aber ungeändert, wenn auch die Schlagweite n mal größer gemacht wird, es muß also bei n facher Schlagweite die Lichtstärke des Funkens n^2 mal größer seyn, oder in Worten:

Die Lichtstärke des elektrischen Funkens ist dem Quadrat der Schlagweite proportional.

Einfluß der Größe und Form der Condensatorfläche. Die Ge- 91
stalt des Condensators (d. h. der auf beiden Seiten mit Metallbelegungen versehenen Glastafeln, deren Entladungsschlag durch den Funkenmikrometer hindurchgeht) hat keinen Einfluß auf die Lichtstärke des elektrischen Funkens, wenn nur die Flächenausdehnung der Belegung dieselbe bleibt. Bedeutenden Einfluß übt dagegen die Größe der Condensatorplatten aus.

Bei unveränderter Entfernung des constanten Lichtes, bei unveränderter Schlagweite und unveränderter Dicke der Glastafel wurde die Oberfläche der Belegungen geändert und jedesmal die entsprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe beobachtet, für welche die Sectoren eben aufhören, bemerklich zu seyn. Die Resultate einer solchen Versuchsreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Oberfläche	Verhältniß	Y	Y^2	Verhältniß
□mm		mm	□mm	
22500	1,77	314	98596	1,78
40000		420	176400	
60000	2,66	514	264196	2,67

Die erste Vertikalreihe enthält die Größe der Oberflächen der Belegung, die zweite giebt das Verhältniß der ersten und zweiten und dann das Verhältniß der ersten zur dritten der besagten Oberflächen an. Die dritte Reihe giebt die entsprechenden Y, die vierte die Quadrate dieser Entfernungen an, die letzte Vertikalreihe endlich enthält das Verhältniß des ersten Y^2 zum zweiten, und des ersten zum dritten.

Aus der Vergleichung der zweiten und fünften Vertikalreihe ergiebt sich nun ganz einfach, daß

$$\frac{F}{Y^2} = n \ldots . 1)$$

d. h., daß der Flächeninhalt F der Belegung des Condensators zu dem Quadrat der Entfernung Y in einem constanten Verhältniß stehen muß,

wenn die Erleuchtung der Scheibe $a\,b$ durch den elektriſchen Funken ſtets gleich groß bleiben ſoll.

Nun iſt aber bei gleichbleibender Erleuchtung der Scheibe

$$J = c\,Y^2,$$

wenn J die Lichtintenſität des Funkens und n einen conſtanten Factor bezeichnet, oder auch

$$\frac{J}{Y^2} = c \ldots 2).$$

Durch Combination der Gleichungen 1) und 2) ergiebt ſich aber

$$J = \frac{N}{C}\,F.$$

oder in Worten: es iſt die Lichtſtärke des elektriſchen Funkens dem Flächeninhalte der Belegungen proportional.

92 **Verhältniß zwiſchen der Intenſität des elektriſchen Funkens und der Dicke des Condenſators.** Bei gleicher Oberfläche der Belegungen wurde die Dicke der Glastafel geändert; und für jede derſelben die Entfernung Y ermittelt, für welche eben die Sectoren aufhören, bemerklich zu ſeyn, während natürlich die Beleuchtung durch die Lampe ungeändert blieb. Die folgende Tabelle enthält einige der erhaltenen Reſultate:

	Decke der Glastafel.	Quadratwurz. aus der Dicke	Y
1	1,31 mm	1,14	1044 mm
2	1,83	1,35	904
3	2,51	1,57	775

Nun iſt $\frac{135}{114} = 1{,}18$ und $\frac{1044}{904} = 1{,}15$, d. h. beide Quotienten ſind ſehr nahe gleich oder $\frac{\sqrt{d''}}{\sqrt{d'}} = \frac{Y'}{Y''}$ ferner iſt $\frac{157}{114} = 1{,}27$ und $\frac{1044}{775} = 1{,}35$, alſo auch nahezu $\frac{\sqrt{d'''}}{\sqrt{d'}} = \frac{Y'}{Y'''}$ und endlich iſt $\frac{157}{135} = 1{,}16$ und $\frac{904}{775} = 1{,}17$, alſo $\frac{\sqrt{d'''}}{\sqrt{d''}} = \frac{Y''}{Y'''}$, oder in Worten: die Werthe von y verhalten ſich nahezu umgekehrt, wie die Quadratwurzeln der entſprechenden Glasdecken, d. h.

$$\sqrt{d} = \frac{n}{Y}$$

oder:

$$d = \frac{p}{Y^2}$$

es iſt aber ferner $J = cy^2$, folglich

$$d \times J = c \cdot p$$

oder

$$J = \frac{cp}{d}$$

d. h. die Intenſität des Funkens iſt der Dicke des Condenſators umgekehrt proportional.

Die übrigen Verſuche, welche Maſſon über dieſe Frage anſtellte, ſtimmen meiſt weniger gut mit der eben entwickelten Beziehung überein. Er ſchreibt dieß dem Umſtande zu, daß er mit ſeinen Mitteln die Glasdicke nicht genau genug habe meſſen können und daß die verſchiedenen Condenſatoren wohl nicht gleiches »Condenſationsvermögen« haben mögen.

Einfluß der Natur der Pole auf den elektriſchen Funken. 93
Maſſon fand, daß die der Funken etwas intenſiver iſt, wenn man unter ſonſt ganz gleichen Umſtänden denſelben zwiſchen Blei-, Zink- und Zinnkugeln überſchlagen läßt, als wenn die Kugeln (natürlich bei gleicher Größe) von Kupfer, Meſſing oder Eiſen ſind. Maſſon meint, daß dieß von der ungleichen Feſtigkeit der Metalle abhänge. Bei allen Verſuchen nämlich zeigen ſich Spuren einer Ueberführung des Metalls von einem Pol zum andern; da nun z. B. das Blei weniger feſt iſt als das Kupfer, ſo wird bei gleicher Spannung der Elektricität mehr Blei als Kupfer übergeführt werden, der Schließungsbogen befindet ſich dadurch unter denſelben Umſtänden, als ob man plötzlich ſeine Leitungsfähigkeit vermehrt hätte, das Licht muß alſo lebhafter werden.

Für dieſe Anſicht ſpricht der Umſtand, daß die Intenſität des Funkens ſehr bedeutend vermehrt wird, wenn man polirte Meſſingkugeln mit ſolchen vertauſcht, welche auf der Oberfläche amalgamirt ſind, wo offenbar die Ueberführung ſehr erleichtert iſt.

Der Funken zwiſchen Bunſen'ſchen Kohlen iſt ſehr weiß in der Mitte, röthlich am Rande und hat etwas flammenartiges.

Die Natur des elektriſchen Lichtes. Ueber die Natur des elektri- 94
ſchen Funkens hat man zwei Hypotheſen; die erſte betrachtet ihn als eine Bewegung, welche dem Lichtäther durch den elektriſchen Funken mitgetheilt wird, nach der zweiten Hypotheſe entſteht das elektriſche Licht durch ponderabele Theilchen, welche glühend durch die Elektricität übergeriſſen werden.

Maſſon ſpricht ſich mehr für die erſte Hypotheſe aus, wofür auch ſeine Verſuche ſprechen, da die Intenſität des Funkens keineswegs von der Schmelzbarkeit und Oxydirbarkeit der Kugeln abhängt, wohl aber von der Feſtigkeit. Würden wegen der geringeren Feſtigkeit des Metalls mehr Theilchen übergeführt, ſo wird die Leitungsfähigkeit des Schließungsbogens vermehrt, die-

ſelbe Elektricitätsmenge alſo in kürzerer Zeit entladen, wodurch ein lebhafteres Licht erzeugt wird.

Die ſo eben beſprochenen Geſetze der Lichtſtärke des elektriſchen Funkens ſind in der folgenden Formel ausgedrückt

$$J = H \frac{X^2 . s}{Y^2 e} \ldots\ldots 1)$$

wenn J die Lichtſtärke des elektriſchen Funkens,

X die Schlagweite,

s die Oberfläche des Condenſators,

Y die Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe des Photometers,

e die Dicke des Condenſators, und endlich

H einen conſtanten Factor bezeichnet, welcher von Elementen abhängt, die bis jetzt noch nicht ermittelt ſind

Setzt man in der Gleichung 1 $X = p \frac{q}{s}$, was erlaubt iſt, da ja Rieß gezeigt hat, daß die Schlagweite der elektriſchen Dichtigkeit proportional iſt (Seite 96), ſo kommt

$$J = \frac{m}{y^2} \cdot \frac{q^2}{s^2} s \ldots\ldots 2)$$

wenn man $\frac{Hp^2}{e} = m$, d. h. gleich einem Conſtanten ſetzt, was erlaubt iſt, ſo lange man die Dicke e des Condenſators nicht ändert.

Die Intenſität des elektriſchen Lichtes iſt $\frac{q^2}{s^2}$ alſo dem Quadrat der elektriſchen Dichtigkeit, oder was daſſelbe iſt, der Tenſion der Elektricität und der Oberfläche s des Condenſators proportional.

Die Gleichung 1) läßt ſich auch ſo ſchreiben

$$J = \frac{H}{y^2 e} X s X.$$

Setzt man nun für das letztere X ſeinen Werth $p \frac{q}{s}$, ſo kommt

$$J = \frac{pH}{y^2 e} Xq \ldots. 3)$$

oder in Worten: die Lichtintenſität des Funkens iſt der Schlagweite und der elektriſchen Quantität proportional.

Nach der Gleichung 2) iſt auch

$$J = \frac{m}{y^2} \frac{q^2}{s}$$

oder

$$J = P \frac{q^2}{s}.$$

Wie aber Rieß gezeigt hat, ist

$$W = Q \frac{q^2}{s}$$

die Wärmemenge, welche in einem Drahte frei wird, wenn man durch denselben die auf der Oberfläche s angesammelte Elektricitätsmenge q entladet.

Wenn also ein Entladungsschlag der elektrischen Batterie an einer Unterbrechung der Schließung einen Funken erzeugt, so ist die Lichtstärke desselben proportional der Wärme, welche derselbe Entladungsschlag in einem Drahtstück hervorbringt, welches einen Theil des Schließungsbogens ausmacht.

Am Schlusse seiner Abhandlung schlägt Masson den unter bestimmten Bedingungen erzeugten Funken als photometrische Einheit vor, wodurch es möglich wird, die Intensität der verschiedensten constanten Lichtquellen auf ein gemeinschaftliches Maaß zurückzuführen.

Fünfter Abſchnitt.

Der elektriſche Geruch.

95 Wenn man ſich in der Nähe einer kräftigen Elektriſirmaſchine befindet, ſo beobachtet man, namentlich wenn die Elektricität aus Spitzen ausſtrömt, oder wenn man eine Reihe von Funken aus dem Conductor überſchlagen läßt, einen ganz eigenthümlichen Geruch, den wir der Kürze halber den elektriſchen Geruch oder Ozongeruch nennen wollen. Dieſer elektriſche Geruch iſt höchſt wahrſcheinlich auch derjenige, den man bei Blitzſchlägen beobachtet, und welcher von Leuten, die denſelben nicht gehörig zu charakteriſiren wiſſen, als Schwefelgeruch bezeichnet wird. Schönbein beobachtete in der Nähe der Stelle, wo ein Blitz eingeſchlagen hatte, noch einige Zeit nachher einen entſchiedenen Ozongeruch.

Bis in die neuere Zeit war man über das Weſen dieſes Geruches vollkommen im Dunkeln. Einige Phyſiker nahmen an, daß dieſer elektriſche Geruch in einer eigenthümlichen Affection der Geruchsorgane durch die Elektricität beruhe, eine Erklärung, die neben dem, daß ſie irrig iſt, auch den großen Nachtheil hatte, daß ſie eine weitere Unterſuchung und Discuſſion abgeſchnitten hat.

Andere ſtellten die Hypotheſe auf, der elektriſche Geruch rühre von feinen metalliſchen Theilchen her, welche durch die ausſtrömende Elektricität mitgeriſſen würden. Aber auch dieſe Anſicht iſt ganz unzuläſſig, weil ſich mit der Natur der Ausſtrömungsſpitze die Natur des Geruches nicht im mindeſten ändert.

Schönbein hat das große Verdienſt, dieſe Frage gleichſam wieder in das Fahrwaſſer naturwiſſenſchaftlicher Thätigkeit gebracht zu haben. Er hat nachgewieſen, daß der elektriſche Geruch einem eigenthümlichen durch die elektriſche Ausſtrömung erzeugten Gaſe zukomme, welches er Ozon nennt. Mit dem größten Eifer hat er Jahrelang die Eigenſchaften dieſes Ozons erforſcht, und wenn es bis jetzt auch noch nicht gelungen iſt, das Ozon iſolirt darzuſtellen, ſo ſind doch bereits viele wichtige chemiſche

und physikalische Beziehungen desselben unzweifelhaft nachgewiesen, und die fernere Untersuchung dieses Gegenstandes verspricht die wichtigsten Entdeckungen auf dem Felde der Chemie.

Die erste Abhandlung Schönbein's über diesen Gegenstand findet sich in den Denkschriften der Münchener Akademie.

Diese Abhandlung ist auch in Poggendorff's Annalen, und zwar im L. Bande pag. 616 abgedruckt.

Ueber die Erzeugung des Ozons auf chemischem Wege veröffentlichte Schönbein im Jahre 1844 eine kleine Schrift unter eben diesem Titel, welche in der Schweighäuser'schen Buchhandlung in Basel erschienen ist.

Die wichtigsten Abhandlungen über unsern Gegenstand, welche hierauf folgten, befinden sich in Poggendorff's Annalen; man findet sie im Namenregister zusammengestellt, welches dem LXXV. Bande dieser Annalen angehängt ist.

In diesen Schriften läßt sich der historische Gang der Schönbein'schen Entdeckungen verfolgen; der größeren Uebersichtlichkeit wegen will ich aber diesen historischen Gang verlassen, ich will nicht über den Inhalt der einzelnen Abhandlungen referiren, sondern ich will die wesentlichsten Versuche, welche die Natur und die wichtigsten Beziehungen des Ozons kennen lehren, in der Weise beschreiben, wie Professor Schönbein im Frühjahre 1849 mir dieselben zu zeigen die Güte hatte, und seine Ansichten über die Natur des Ozons, die früheren Phasen übergehend, in der Weise vortragen, wie sie sich jetzt in Folge vieljähriger Untersuchungen gestaltet haben.

Versieht man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einem vorne abgerundeten Drahte *ab*, Fig. 82, von ungefähr 1 Linie Durchmesser, so wird man, während die Maschine gedreht wird, in der Nähe des Drahtendes *a* den eigenthümlichen elektrischen Geruch bemerken. —

Fig 82.

Daß dieser Geruch nicht bloß einer subjectiven Affection der Geruchsorgane zuzuschreiben ist, sondern daß er von einem eigenthümlichen Gase herrührt, ergiebt sich daraus, daß dieses riechende Princip eine Reihe von chemischen und physikalischen Wirkungen hervorbringt, welche mit den chemischen Reactionen und physikalischen Beziehungen anderer Gase die größte Aehnlichkeit haben. Ja es ist Schönbein gelungen, dieses riechende Princip, das Ozon, auf rein chemischem Wege darzustellen und alle Reactionen

mit demselben hervorzubringen, wie man sie an Ausströmungsspitzen beobachtet.

Hält man der Ausströmungsspitze ein Stückchen Papier in der Entfernung von ½ bis 1 Zoll entgegen, welches mit Jodkaliumkleister bestrichen ist, so wird dieser Kleister alsbald geblaut.

Um den Jodkaliumkleister zu bereiten, werden 2 Theelöffel voll Stärke, welcher man ein Körnchen Jodkalium zusetzt, mit dem 10fachen Volumen Wasser zu Kleister gekocht.

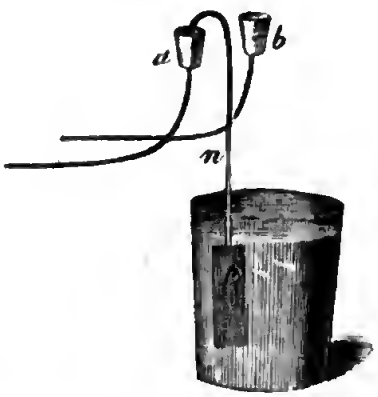
Das Ozon wirkt also auf den Jodkaliumkleister gerade so wie das Chlor, es zersetzt das Jodkalium und das freiwerdende Jod färbt die Stärke blau.

Die Erscheinung, nämlich das Bläuen des Jodkaliumkleisters, findet ganz in derselben Weise statt, mag nun aus der Spitze positive oder negative Elektricität ausströmen; ebenso ist es vollkommen gleichgültig, aus welcher Substanz die Spitze gefertigt ist, wenn nur eine Ausströmung der Elektricität aus derselben stattfindet, wodurch die Ansicht einiger früheren Physiker widerlegt wird, als ob der elektrische Geruch von Metalltheilchen herrühre, welche von der ausströmenden Elektricität mit fortgeführt worden.

Hält man eine Platin- oder Goldplatte der Ausströmungsspitze entgegen, während die Maschine gedreht wird, so wird dieser Platte eine negativ-galvanische Polarisation mitgetheilt, die man auf folgende Weise darthun kann.

Die beiden Queckſilbernäpfchen *a* und *b*, Fig. 83, seyen mit den Drahtenden eines Multiplicators in Verbindung. In das Queckſilbernäpfchen *a* ist ein Kupferdraht eingetaucht, an dessen anderem Ende eine Platinplatte *p* befestigt ist (die Platinplatte ist zunächst mit Gold an einen Platindraht und dieser bei *n* an einen Kupferdraht gelöthet). Diese Platinplatte hängt in ein Glasgefäß herab, welches etwas gesäuertes Wasser enthält.

Fig. 83



Nachdem man nun eine ganz ähnlich vorgerichtete Platinplatte eine Zeit lang der aus der Spitze strömenden Elektricität ausgesetzt hat, wird sie ebenfalls in das Wasser des Glasgefäßes eingetaucht; sobald nun der Kupferdraht der zweiten Platinplatte in das Queckſilbernäpfchen *b* eingesenkt wird, entsteht ein bedeutender Ausschlag der Galvanometernadel, und zwar nach einer Rich-

tung, welche anzeigt, daß die dem Ozon ausgeſetzt geweſene Platinplatte ſich negativ gegen die andere verhält, d. h. der Ausſchlag erfolgt nach derſelben Seite, als ob in *a* ein Zinkdraht, in *b* ein Kupferdraht eingeſenkt geweſen wäre und man dieſe Drähte dann in die Flüſſigkeit des Glasgefäßes eingetaucht hätte. Dieſer Strom iſt jedoch nur ein vorübergehender.

Was die Polariſationserſcheinungen überhaupt betrifft, ſo werden wir dieſelben ſpäter noch beſonders betrachten, hier mußte dieſelbe nur als eine der Wirkungen mit aufgeführt werden, welche das Ausſtrömen der Elektricität aus Spitzen begleiten.

Alle dieſe Reactionen verſchwinden, wenn Schwefelwaſſerſtoffgas, Ammoniakgas, ölbildendes Gas u. ſ. w. in der Luft des Zimmers verbreitet iſt.

Wenn man die Ausſtrömungsſpitze durch eine Weingeiſtlampe bis zum Glühen erhitzt und gleich nach dem Entfernen der Lampe die Maſchine in Thätigkeit ſetzt, ſo ſind nun alle die bisher beſchriebenen Erſcheinungen, welche das Ausſtrömen der Elektricität begleiten, verſchwunden, d. h. der elektriſche Geruch wird nicht mehr wahrgenommen; Jodkaliumkleiſter, welchen man der Ausſtrömungsſpitze entgegenhält, wird nicht geblaut, Platin oder Goldplatten werden nicht galvaniſch polariſirt. Alle dieſe Erſcheinungen treten aber allmälig wieder auf, wenn die Spitze mehr und mehr erkaltet.

Um den Verſuch in Beziehung auf den Geruch rein zu haben, muß man ihn mit Drahtſtücken von edlen Metallen anſtellen, weil die leichten oxydirbaren Metalle beim Erhitzen ſelbſt einen eigenthümlichen Geruch verbreiten; da jedoch ganz dünne Drähte zu dieſem Verſuch nicht geeignet ſind, dickere aber nicht immer erhalten werden können, ſo kann man einen dünneren Platindraht anwenden, an deſſen Ende ein Kügelchen von ungefähr 1 Linie Durchmeſſer angeſchmolzen iſt.

Elektriſcher Geruch bei der elektriſchen Zerſetzung des Waſſers. 96
Der elektriſche Geruch tritt nicht allein bei der Ausſtrömung der Elektricität aus Spitzen auf, auch bei der elektrolytiſchen Zerſetzung des Waſſers begegnen wir demſelben wieder und finden ihn von denſelben Reactionen und Wirkungen begleitet, die wir im vorigen Paragraphen betrachtet haben.

Bei genauerer Unterſuchung ergiebt ſich, daß der elektriſche Geruch an dem poſitiven Pol, alſo an demjenigen auftritt, an welchem Sauerſtoffgas entbunden wird, denn wenn man die aus der Zerſetzung des Waſſers reſultirenden Gaſe geſondert auffängt, ſo bemerkt man den fraglichen Geruch nur in demjenigen Gefäß, welches den Sauerſtoff enthält, keine Spur aber in demjenigen, welches den Waſſerſtoff einſchließt.

Auch die gemengt aufgefangenen Gaſe beſitzen den elektriſchen Geruch.

Hängt man in das mit dem elektriſchen Geruch behaftete, durch die Elektrolyſe erhaltenen Sauerſtoffgas oder Knallgas ein mit Jodkaliumkleiſter beſtrichenes Papier, ſo wird daſſelbe gebläuet. Eine in dieſes Gas einige Zeit lang eingetauchte Platinplatte zeigt dieſelbe elektronegative Polariſation, als ob man ſie dem elektriſchen Büſchel ausgeſetzt hätte

Chemiſch reines Sauerſtoffgas bringt keinen dieſer Effecte hervor, es hat nicht den Geruch, bläut nicht den Jodkaliumkleiſter und iſt nicht im Stande eine Platinplatte negativ zu galvaniſiren.

Das durch elektrolytiſche Zerſetzung erhaltene Gas bringt alſo in allen dieſen Fällen dieſelbe Wirkung hervor wie die Luft, welche von einer ſtark elektriſirten Spitze abſtrömt.

97 **Erzeugung des Ozons auf chemiſchem Wege.** Der ſogenannte elektriſche Geruch läßt ſich auch ohne alle Elektricität auf rein chemiſchem Wege darſtellen. Ein Stück Phosphor mit Löſchpapier trocken abgerieben, ſo daß es eine reine Oberfläche hat, verbreitet einen eigenthümlichen, knoblauchartigen Geruch. Bringt man ein ſolches Stück Phosphor in eine mit Luft gefüllte Flaſche, ſo wird ſich in der Kälte der Phosphordampf bald in der ganzen Flaſche verbreiten. Hängt man nur kurze Zeit eine Platinplatte in die Flaſche hinein, ſo wird dieſelbe bald *poſitiv* polariſirt.

Die Polariſation der Platinplatte iſt wohl dem Phosphordampf zuzuſchreiben, welcher ſich in der Flaſche verbreitet, der Geruch aber höchſt wahrſcheinlich der phosphorigen Säure, welche ſich durch die theilweiſe Oxydation des Phosphordampfes bildet.

Iſt nun etwas Feuchtigkeit in der Flaſche (am beſten ſo viel Waſſer, daß das Phosphorſtück halb aus demſelben hervorragt), ſo wird der Phosphorgeruch ſchwächer und ſchwächer, er verſchwindet endlich ganz und an ſeine Stelle tritt alsdann ein entſchiedener *Ozongeruch*. Bei etwas höherer Temperatur tritt der Ozongeruch ſehr bald auf.

Dieſer *Ozongeruch* iſt von dem auf elektriſchem Wege erzeugten durchaus nicht zu unterſcheiden und er iſt von allen den Reactionen und Wirkungen begleitet, welche das Agens des elektriſchen Geruches charakteriſiren. — Hängt man ein Papier mit Jodkaliumkleiſter in die Flaſche hinein, ſo wird es ſogleich gebläut, eine in die ozonhaltige Luft getauchte Platinplatte wird *elektronegativ* polariſirt.

Mit dem auf chemiſchem Wege dargeſtellten Ozon kann man die Reactionen faſt ganz in derſelben Form hervorbringen, wie mit einer Elektricität ausſtrömenden Spitze. Zu dieſem Zweck wird eine mehrere Liter haltende

mit ozonhaltiger Luft gefüllte Flasche (Fig. 84) durch einen Kork verschlossen, welche doppelt durchbohrt ist. Durch die eine Oeffnung geht eine Röhre beinahe bis auf den Boden der Flasche, welche oben in einen Trichter endigt, durch die andere Oeffnung geht eine Röhre, welche nicht weiter in die Flasche herabgeht, die aber bald über den Kork horizontal eingebogen ist und in eine Spitze mit ziemlich kleiner Oeffnug endigt. Läßt man nun in den Trichter in passendem Maaße Wasser einströmen, so wird die ozonhaltige Luft durch die Spitze der andern Röhre ausgetrieben. Diese Spitze verhält sich jetzt vollkommen gerade so wie eine Metallspitze, aus welcher ein elektrischer Büschel ausströmt. — Wenn man die Glasspitze der Nase nähert, so beobachtet man den elektrischen Geruch, hält man ihr ein Papier mit Jodkaliumkleister gegenüber, so wird es gebläut, hält man eine Platinplatte vor die feine Oeffnung, so wird dieselbe elektronegativ polarisirt.

Fig. 84.

Wir haben oben gesehen, daß alle Wirkungen des Ozons verschwinden, wenn die Büschel gebende Spitze stark erhitzt ist; ebenso verschwinden alle Reactionen des Ozons, sobald man den horizontalen Theil des Ausströmungsrohres durch eine Weingeistlampe stark erhitzt hat. Die Luft, die durch die heiße Röhre strömend zur feinen Oeffnung hervortritt, hat keinen Geruch mehr, sie bläut den Jodkaliumkleister nicht und ist nicht im Stande eine Platinplatte elektrisch zu polarisiren. — Alle diese Wirkungen treten aber nach Erkaltung der Röhre wieder auf.

Chemische Natur des Ozons. Schönbein, der Entdecker des 98
Ozons, hat mit unermüdlichem Fleiße Jahre lang das Verhalten dieses merkwürdigen Körpers beobachtet und untersucht, und gefunden, daß er in jeder Beziehung mit den Hyperoxyden die größte Aehnlichkeit hat; er ist dadurch endlich zu der Ansicht gelangt, daß das Ozon nichts anderes sey als ein gasförmiges Wasserstoffsuperoxyd.

Das Ozon bildet sich demnach durch eine fernere Oxydation des Wasserdampfes der Luft. Es erklärt sich dadurch, warum Wasser oder viel-

mehr Waſſerdampf zur Ozonbildung durchaus nothwendig iſt. In vollkommen trockner Luft kann man mittelſt Phosphor kein Ozon darſtellen.

Die Elektricität disponirt den Waſſerdampf der Atmoſphäre, ſich weiter zu oxydiren und Ozon zu bilden; eben ſo bewirkt der Phosphor die Verbindung des Waſſerdampfes mit Sauerſtoff, ohne daß man bis jetzt das »Wie?« beantworten könnte.

Durch die Hitze wird das Ozon wieder in ſeine Beſtandtheile, Waſſerdampf und Sauerſtoff, zerlegt, wie uns die auf Seite 215 angeführten Verſuche lehren.

Es wird zwar von de la Rive und Berzelius, welche das Ozon als einen modificirten Sauerſtoff betrachten, behauptet, in trocknem Sauerſtoffgas könne durch elektriſche Ausſtrömung Ozon erzeugt werden, doch iſt dies allen Analogieen Schönbein's entgegen. Als ſchlagendſten Beweis für den Waſſergehalt des Ozons führt Schönbein folgenden Verſuch an: wenn man ozonhaltige Luft möglichſt vollſtändig trocknet, alsdann dieſelbe erhitzt, ſo giebt ſie nach dem Erkalten, über hygroſkopiſche Körper ſtreichend, Waſſer an dieſelben ab. — Durch die Hitze iſt nämlich das Ozon wieder zerlegt, alſo der Waſſerdampf gleichſam wieder frei geworden, den es enthielt.

Das Ozon iſt eines der kräftigſten Oxydationsmittel, welche man kennt. Leitet man längere Zeit ozonhaltige Luft über fein zertheiltes metalliſches Silber, ſo wird daſſelbe in Silberſuperoxyd verwandelt. Die Phosphordämpfe werden unter dem Einfluß des Ozons raſch oxydirt und in Phosphorſäure und phosphorichte Säure verwandelt.

Die Thatſache, daß ſich beim Durchſchlagen elektriſcher Funken durch waſſerhaltige atmoſphäriſche Luft Salpeterſäure bildet, iſt bereits im Jahre 1785 von Cavendiſh ermittelt worden. Schönbein hat nun aber nachgewieſen, daß ſich unter dieſen Umſtänden auch ſtets Ozon bildet.

Da mit Hülfe der Funkenelektricität Ozon in feuchtem Sauerſtoffgas erzeugt werden kann, ſo iſt klar, daß die Bildung des Ozons von derjenigen der Salpeterſäure unabhängig iſt. Dahingegen hat es Schönbein im höchſten Grade wahrſcheinlich gemacht, daß die Bildung der Salpeterſäure nicht eine directe Wirkung der Elektricität iſt, ſondern eine ſecundäre, hervorgebracht durch die oxydirende Wirkung des Ozons auf den Stickſtoff der Atmoſphäre.

Die Salpeterſäurebildung durch Elektricität läßt ſich am einfachſten dadurch nachweiſen, daß man der aus einem Drahte ausſtrömenden Elektricität eine Zeit lang ein mit einer Löſung von kohlenſaurem Kali befeuchtetes Papier ausſetzt; das kohlenſaure Kali wird unter dieſen Umſtänden zum Theil in ſalpeterſaures Kali verwandelt.

Auch das vermittelſt Phosphor dargeſtellte Ozon bewirkt eine Salpeterſäurebildung. — Die phosphatige Säure, ein Gemiſch von Phosphorſäure und phosphoriger Säure, welche ſich in einem Ballon bildet, der ein Stückchen Phosphor, etwas Waſſer und atmoſphäriſche Luft enthält, wird vom Waſſer abſorbirt. Färbt man nun dieſes Waſſer mit etwas Indigoſolution, ſo wird dieſe alsbald gebleicht, eine Wirkung, welche weder Phosphorſäure noch phosphorichte Säure für ſich allein hervorbringen. Dieſes Bleichen iſt der Effect einer geringen Quantität Salpeterſäure, welche, unter dem Einfluß des Ozons gebildet, ſich gleichfalls in Waſſer löſt.

Daß man hier wirklich mit Salpeterſäure zu thun hat, ergiebt ſich daraus, daß wenn man das Waſſer mit Kalkmilch ſchüttelt, ſich phosphorſaurer und phosphorichtſaurer Kalk bildet, welche unlöslich ſind, während etwas ſalpeterſaurer Kalk in der Löſung zurückbleibt.

Davy hat die Beobachtung gemacht, daß am poſitiven Pole einer Säule Spuren von Salpeterſäure auftreten, wenn durch luft- oder ſtickſtoffhaltiges Waſſer ein Voltaiſcher Strom geht; auch hier iſt die Bildung der Salpeterſäure eine ſecundäre Wirkung der Elektricität. Zunächſt wird durch den Einfluß des Stromes Ozon gebildet, und dieſes oxydirt dann den Stickſtoff.

Das Leuchten des Phosphors durch die Einwirkung von Ozon bewirkt. Bei niedrigen Temperaturen findet bekanntlich in ozonfreier Luft keine langſame Verbrennung des Phosphors, alſo kein Leuchten deſſelben im Dunkeln ſtatt, welches aber ſogleich auftritt, ſobald Ozon mit dem Phosphor in Berührung kommt. In einer Flaſche, in welcher ſich ozoniſirte Luft befindet, leuchtet der Phosphor auch bei ganz niedriger Temperatur. 99

Sehr ſchön hat dies Schönbein dadurch nachgewieſen, daß er bei niedriger Temperatur Phosphorſtangen elektriſchen Lichtbüſcheln ausſetzte, welche nach dem Obigen die Bildung von Ozon vermitteln. Die Art, wie er den Verſuch anſtellte, war folgende (P. A. LXVIII. 38.).

Es wurde ein Zoll langes Stück Phosphor von reiner Oberfläche auf ein mit der Erde in leitender Verbindung ſtehendes Brettchen gelegt und das freie Ende eines mit dem Conductor einer Elektriſirmaſchine verbundenen Drahtes bis auf einige Linien dem Phosphor genähert. Bei einer Temperatur von — 2° leuchtete der Phosphor an und für ſich im Dunkeln nicht; ſetzte man aber die Maſchine in Bewegung, ſo daß ein elektriſcher Büſchel von Draht gegen das Phosphorſtück ſpielte, ſo leckte augenblicklich eine leichte Flamme über die ganze Länge des Phosphors hinweg, die in der Regel gleich einem Kometenſchweife noch weit über die Phosphorſtange hinausreicht. Wird die Maſchine nicht mehr gedreht,

ſo verſchwindet auch das Leuchten des Phosphors nach einigen Secunden wieder.

Eine ſehr artige Lichterſcheinung erhielt Schönbein durch folgende Anordnung. Ein Kupferdraht wurde ſpiralförmig um ein Zoll langes Stück reinen Phosphors herumgewunden, ſo daß das eine Ende des Drahtes noch um eine Linie als Spitze über den Phosphor hinausreicht, ungefähr ſo, wie es Fig. 85 darſtellt. Das andere Ende des Drahtes wurde mit dem Conductor einer Elektriſirmaſchine verbunden. Bei einer Temperatur unter 0° leuchtete das Phosphorſtück ſelbſt in der größten Dunkelheit nicht im mindeſten. Drehte man aber die Elektriſirmaſchine, ſo daß ein lebhafter Büſchel am Ende des gewundenen Drahtes erſchien, ſo ſah man aus der Mitte des Büſchels einen leuchtenden Kegel hervorgehen, der je nach den Umſtänden eine Länge von einigen Zollen bis zu einigen Fußen erreichte. Der größte Kegel, den Schönbein erhielt, war 2½ Fuß lang. Mit kräftigen Maſchinen muß man ſolche Kegel von noch viel bedeutenderer Länge erhalten.

Fig. 85.

Es darf wohl ohne Bedenken angenommen werden, daß dieſer Lichtſchweif nichts anderes iſt als in langſamer Verbrennung begriffener Phosphordampf.

Der leuchtende Schweif verſchwindet mit dem elektriſchen Büſchel.

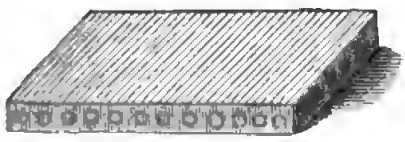
Nachtrag.

In Beziehung auf Grüel's Elektriſirmaſchinen, von denen bereits auf Seite 20 die Rede war, iſt aus dem 100ſten Bande von Dingler's polytechniſchem Journal noch Folgendes nachzutragen.

Eine geriebene Glasfläche von circa 2 Quadratfuß gab in Verbindung von nur einem Reibzeuge und einem Conductor von circa 1¾ Quadratfuß, mit 1½zölligen Endkugeln verſehen, dem Blitz ähnliche, vielfach gezackte Funken von 8zölliger Schlagweite; die Ausdehnung der Lichtbüſchel ging begreiflich noch über dieſe Entfernung hinaus. — Hiermit in Verhältniß ſtand die raſche Ladung großer Leidner Flaſchen, ebenſo die Wirkung kleinerer Elektriſirmaſchinen von äußerſt anſprechender Form.

Die Verfertigung von Elektrophoren betreffend, welche auf Seite 2 angeführt wurde, mögte Folgendes die zweckmäßigſte und billigſte Conſtruction derſelben ſeyn.

Fig. 86.



Auf ein quadratiſches Brett von 1 bis 1½ Fuß Seitenlänge, welches mit Stanniol oder unächtem Silberpapier überzogen iſt, ſpannt man eine oder zwei Lagen ordinären wollenen Tuches und darüber eine einfache oder auch doppelte Lage von Guttapercha-Papier; Tuch und Guttapercha-Papier werden an den Seitenwänden des etwa Zoll hohen Brettes mit kurzen dickköpfigen Nägeln aufgenagelt. Ein ſolches Elektrophor, welches ſehr wirkſam iſt, hat ungefähr das in Fig. 86 dargeſtellte Anſehen.

Schönbein's elektriſches Papier wird auf folgende Weiſe dargeſtellt. Schießbaumwolle wird in Aether aufgelöſt und die klare

Auflöſung über eine beliebige Glasfläche ausgebreitet. Nach gänzlicher Verflüchtigung des Löſungsmittels bleibt eine durchſichtige Haut zurück, welche eben das elektriſche Papier iſt, und welcher man neuerlich den Namen Collodion beigelegt hat. Grüel hat das Collodion zur Darſtellung kleiner Luftballons angewandt.

Galvanismus.

Erſter Abſchnitt.

Streit der chemiſchen Theorie und der Contacttheorie.

Einleitung. Den Bericht über die Fortſchritte und neueren Ent- 100
deckungen im Gebiete des Galvanismus müſſen wir mit der Beſprechung des vielfach unerquicklichen Streites zwiſchen der ſogenannten Contacttheorie und der chemiſchen Theorie der galvaniſchen Kette beginnen, ein Streit, der mit einer gewiſſen Leidenſchaftlichkeit geführt wurde. Gerade dieſe Heftigkeit des Streites beweiſt aber ſchon, daß die Sicherheit der Beweisführung, mit der man dem Gegner zu widerlegen ſuchte, auf ſchwachen Füßen ſtehe. Ueberall zeigt uns die Geſchichte der Wiſſenſchaft, daß die Heftigkeit der Controverſe verſchwindet, ſobald hinlänglich überzeugende Gründe für eine Anſicht beigebracht werden, wo aber die zwingende Ueberzeugungskraft der Gründe fehlt, da läßt ſich eben der Menſch im Streben, ſeiner Anſicht Geltung zu verſchaffen, gar leicht zur Leidenſchaftlichkeit hinreißen; die Urtheile nehmen dann eine apodictiſche Geſtalt an, um durch die Schroffheit der Form den Widerſpruch zurückzudrängen.

Iſt eine naturwiſſenſchaftliche Theorie genügend begründet, ſo hört die Leidenſchaftlichkeit der Controverſe auf. Wenn jetzt jemand mit der Behauptung auftreten wollte, die Sonne drehe ſich doch um die ſtillſtehende Erde, ich glaube ſchwerlich, daß ſich die Aſtronomen ſehr ereifern, daß ſie ſich viele Mühe geben würden dem Gegner zu widerlegen, und als Drieberg kürzlich die phyſikaliſche Lehre vom Luftdruck angriff, haben ſeine Behauptungen keinerlei Aufregung unter den Phyſikern hervorgebracht.— Der Widerſpruch reizt nur da, wo die Theorien noch nicht über denſelben erhaben ſind, und das iſt zum Theil der Fall in Beziehung auf die Quelle der Elektricität der galvaniſchen Kette.

Ich bin der feſten Ueberzeugung, daß die in Rede ſtehende Streitfrage noch nicht nach allen Seiten hin ſpruchreif iſt, und daß wir eine vollſtän-

dige Löſung derſelben, eine genügende, allſeitig und gleichförmig abgerundete Erklärung der Elektricitätsentwicklung überhaupt, erſt dann erwarten können, wenn wir über das Weſen der Elektricität ſelber erſt beſſer aufgeklärt ſind. Das Weſen der Elektricität zu enträthſeln mögte aber jetzt noch eine vergebliche Mühe ſeyn., es wird erſt möglich werden, wenn neu entdeckte Thatſachen die Materialien liefern, aus denen leicht und ungezwungen eine Theorie herauswächſt, die auf einmal Licht über die Punkte der Elektricitätslehre verbreiten wird, die man jetzt vergeblich durch breitere und unklare Betrachtungen zu erhellen ſucht. — Zu Euler's Zeit war die Vibrationstheorie ſchon ungleich weiter vorgerückt, als unſere Elektricitätslehre, es lag ungleich mehr Material zum Aufbau derſelben bereit, und dennoch gelang es dem großen Naturforſcher nicht ihr allgemeine Anerkennung zu verſchaffen; er konnte ſie nur durch Analogieen mit dem Schall plauſibel machen. Erſt durch die Entdeckung neuer Thatſachen, erſt durch die Entdeckung der Polariſation war es möglich, das wahre Weſen der Lichtwellen zu ermitteln und der Theorie eine Vollendung zu geben, vor welcher der Widerſpruch verſtummen mußte.

Aus mangelhaftem Material wird man niemals einen feſten vollendeten Bau aufführen können. Demzufolge dürfen wir jetzt nur eine relative, keine definitive Entſcheidung der Streitfrage über die Quelle der Elektricität der galvaniſchen Kette erwarten. —

Zu Ende der dreißiger und zu Anfang der vierziger Jahre wurde der Streit mit beſonderer Heftigkeit geführt, er hat aber allmälig nachgelaſſen, ſo daß er jetzt faſt ganz verſtummt iſt, ohne daß ſich jedoch die Meinungen der Phyſiker und Chemiker vollſtändig vereinigt hätten.

Es iſt in der That ſehr ſchwierig, dieſem Streit überall zu folgen und mit kurzen präciſen Worten die gegneriſchen Anſichten hinzuſtellen, weil ſich eben dieſe Anſichten ſelten präcis ausgeſprochen finden und uns häufig nur Nebelbilder ſtatt klar ausgeſprochene und conſequent durchgeführte Anſichten geboten werden. Die im Verhältniß zu ihrem ſachlichen Inhalt größtentheils ſehr bedeutende Ausdehnung der meiſten Abhandlungen, in welchen dieſe Controverſe behandelt wird, iſt in der That kein günſtiges Zeichen für die Klarheit der Vorſtellungen ihrer Autoren.

Unter allen denen, welche an dem Streite ſich betheiligt haben, kann man wohl kaum zwei nennen, die in ihren Anſichten ganz übereinſtimmen. Die meiſten machen ihre Theorien ſo ziemlich auf einer tabula rasa, ohne ſich um das vorhandene Material zu kümmern, und ohne danach zu fragen, ob denn die neu aufgeſtellte Theorie nicht eine bedeutungsloſe Modification ſchon vorhandener Anſichten ſey, ob die neue Hypotheſe wirklich mehr leiſte als die ſchon früher aufgeſtellte. — Daher kommt es denn auch, daß man derſelben Grundidee in den mannichfaltigſten Formen wieder be-

gegnet, wie dies z. B. mit der polaren Stellung der Waſſertheilchen zwiſchen den beiden Polen der Kette der Fall iſt.

Ein Umſtand, welcher bei dieſem Streite beſonders auffallen muß, und der nicht wenig zur Verlängerung deſſelben und zur Verwirrung beigetragen hat, iſt der, daß ſo häufig die gegneriſche Meinung ganz unrichtig aufgefaßt wurde, daß man ſie gleichſam zur Carricatur machte. Auf dieſe Weiſe wurden dem Gegner Behauptungen untergelegt, die er nie gemacht hat; es wurden aus ſeiner Theorie Conſequenzen gezogen, gegen die er proteſtiren muß.

Es erinnert dies an die Polemik Göthe's gegen die Newton'ſche Farbenlehre. — Nach der Newton'ſchen Theorie erwartete Göthe eine weiße Wand durch ein Prisma in lauter farbige Streifen getheilt zu ſehen, als er aber die Wand durch das Prisma weiß und nur mit farbigen Rändern begränzt ſah, nahm er aus dieſer Thatſache ein Argument gegen die Newton'ſche Farbenlehre. Die Phyſiker ſind aber darüber einig, daß Göthe dadurch nur den Beweis geliefert hat, die Newton'ſche Theorie nicht verſtanden zu haben.

Nicht viel anders iſt es, wenn man die Umkehrung des Stroms eines Zinkkupferelements in Schwefelleberlöſung als Beweis gegen die Contacttheorie geltend machen will; — oder wenn auf der andern Seite behauptet wird, daß Schönbein's Modification der chemiſchen Theorie die Zunahme der Spannung in der offenen Säule nicht erklären könne. Freilich ſind noch viele Erſcheinungen, z. B. die Paſſivitätserſcheinungen, ſehr räthſelhaft, aber keine der beiden ſtreitenden Theorien vermag dieſelben beſſer zu erklären als die andere. Der Umſtand, daß noch Vieles räthſelhaft iſt, kann keinen Grund abgeben, eine Theorie zu verlaſſen, wenn nicht eine andere die Räthſel beſſer löſt. Die Erklärungsweiſe, welche die chemiſche Theorie von Polariſation und Paſſivität giebt, ſteht auf ganz gleicher Stufe mit den entſprechenden Erklärungen der Contacttheorie; beide ſind gleich mangelhaft, ſie laufen aber ſo vollkommen parallel, daß man nur die Terminologie zu ändern braucht, um die Erklärung der einen Theorie in die Sprachweiſe der andern zu überſetzen. In der That iſt es ziemlich gleichbedeutend für das Verſtändniß der Paſſivität des Eiſens, ob man ſagt, ſeine Verwandtſchaft zum Sauerſtoff iſt verringert, oder ob man ſagt, es iſt mehr elektronegativ geworden.

Kurze Charakteriſtik der ſtreitenden Theorien. Gehen wir 101
nach dieſer allgemeinen Betrachtung über zu einer kurzen Charakteriſtik der verſchiedenen galvaniſchen Theorien.

Nach der urſprünglichen Volta'ſchen Contacttheorie iſt die

Quelle der Elektricität der Säule lediglich in der Wechſelwirkung der in Berührung ſtehenden Metalle zu ſuchen; die Flüſſigkeit der Säule wird nur als Leiter betrachtet.

In dieſer urſprünglichen einſeitigen Form genügt dieſe Theorie unſerer jetzigen Kenntniß der Thatſachen nicht mehr; in dem Maaße, als die Bedeutung der chemiſchen Beziehungen des Stromes mehr bekannt wurden, war man genöthigt, die Theorie zu modificiren, und in der That iſt es gelungen, dieſelbe in eine Form zu bringen, in welcher ſie alle Erſcheinungen der offenen und der geſchloſſenen Säule umfaßt und erklärt.

Dieſe modificirte Form der Contacttheorie iſt es, welche ich in meinem Lehrbuch der Phyſik vorgetragen habe.

Dieſer Contacttheorie entgegen ſteht die chemiſche Theorie der Kette, welche in ihrer ſchroffen Form von de la Rive, Becquerel, Faraday und den meiſten engliſchen Phyſikern vertreten wird. Dieſer Theorie zufolge iſt die Elektricitätsentwickelung in der Kette erſt die Folge einer vorhergegangenen chemiſchen Wirkung, welche die Flüſſigkeit der Kette auf das eine Metall ausübt. Auch die elektriſche Spannung an den Polen der nicht geſchloſſenen Kette iſt nach dieſer Anſicht die Folge einer vorhergegangenen chemiſchen Einwirkung.

Dieſe Meinung, daß die Elektricitätsentwickelung nur die Folge vorhergegangener chemiſcher Wirkung ſey, daß ohne chemiſche Zerſetzung des Elektrolyten gar keine Elektricität in der Kette auftreten könne, iſt es vorzugsweiſe, gegen welche die Angriffe der Contactiſten gerichtet waren, und in der That widerſpricht dieſelbe einer großen Anzahl von Thatſachen. Die chemiſche Theorie in dieſer Form ignorirt den Volta'ſchen Fundamentalverſuch vollkommen, ſie giebt keine Auskunft darüber, wie die Spannung der Elektricität an den Polen der offenen Kette mit der Anzahl der Plattenpaare zunimmt. Was aber am entſchiedenſten die Unhaltbarkeit dieſer Anſicht darthut, iſt der Umſtand, daß man in der That eine Menge galvaniſcher Ketten conſtruiren kann, bei denen vor der Schließung auch nicht eine Spur chemiſcher Zerſetzung ſtattfindet, und die nichts deſto weniger einen Strom liefern, wenn ſie geſchloſſen werden.

Schönbein hat in einem Aufſatz »über die Urſache der hydroelektriſchen Ströme«, welcher ſich in ſeinen »Beiträgen zur phyſikaliſchen Chemie (Baſel 1844)« befindet, mehrere ſolcher Ketten angeführt. Eine Auflöſung von vollkommen neutralem ſchwefelſaurem Zinkoxyd greift z. B. das Zink nicht an, deſſen ungeachtet giebt eine Combination von Zink und Kupfer in einer Auflöſung von Zinkvitriol einen Strom.

Ein fernerer ſehr bedeutſamer Einwurf gegen diejenige Form der chemiſchen Theorie, welche die Bildung des Stromes von einem vorausge-

gangenen chemiſchen Angriff des einen Metalles der Kette ableitet, iſt auch noch der, daß die elektromotoriſche Kraft einer Kette durchaus nicht der Stärke des chemiſchen Angriffs proportional iſt. Steht in einer Daniell'ſchen Kette das Kupfer in einer Löſung von Kupfervitriol, ſo bleibt die elektromotoriſche Kraft des Apparates faſt ganz ungeändert, mag nun das Zink in Waſſer oder in verdünnter Schwefelſäure oder in einer neutralen Löſung von Zinkvitriol ſtehen. Dies hat außer andern Phyſikern auch Svanberg durch genaue Meſſungen nachgewieſen (P. A. LXXIII. 290). Wäre der vorhergegangene chemiſche Angriff die Quelle des Stromes, ſo müßte die elektromotoriſche Kraft bei Anwendung der verdünnten Säure weit größer ſeyn, als für Waſſer und Zinkvitriol.

Es iſt Thatſache, daß der Strom der Hydrokette nicht ohne Zerſetzung der Flüſſigkeit circuliren kann, die Zerſetzung der Flüſſigkeit ſcheint weſentlich zuſammenzuhängen mit der Leitung der Elektricität durch dieſelbe, und auch die Contacttheorie hat die Bedeutung, welche die chemiſche Zerſetzung in den Zellen für die Strombildung hat, vollkommen anerkannt. Wenn man aber darüber ſtreitet, ob die Zerſetzung die Urſache des elektriſchen Stromes ſey oder ob der chemiſchen Zerſetzung in der Kette erſt ein elektriſcher Spannungszuſtand vorangehe, nach deſſen Quelle wir vor der Hand noch nicht fragen wollen, ſo iſt dies in der That nicht viel anders, als wenn man ſich darüber ſtreiten wollte, ob die Bewegung eines Mühlrades von dem Fall des Waſſers oder von der Schwere des Waſſers abzuleiten ſey. —

Die Schwere veranlaßt den Fall des Waſſers und der Fall des Waſſers die Umdrehung des Rades, ſo wie die elektriſche Spannung die chemiſche Zerſetzung veranlaßt, in Folge deren der Strom circulirt.

Selbſt Faraday, der doch vorzugsweiſe die chemiſche Zerſetzung als Quelle des elektriſchen Stromes betrachtet wiſſen will, giebt zu, daß der Zerſetzung ein Spannungszuſtand der Flüſſigkeit vorangehe, denn er ſagt bei der Gelegenheit, wo er ſeine Vertheilungstheorie, die ſchon oben pag. 55 beſprochen wurde, auf die elektrolytiſche Zerſetzung anwendet: »Die Theo»rie nimmt an, daß die Theilchen des Dielectricum (jetzt ein Electro»lyt) im erſten Augenblick durch gewöhnliche Vertheilungswirkung in einen »Polariſationszuſtand gebracht, und bis zu einem gewiſſen Grade von »Spannung oder Intenſität geſteigert werden, bevor die Entladung an»fängt. Der Vertheilungszuſtand iſt in der That eine nothwendige »Vorläuferin der Entladung. Benutzt man die geeigneten Umſtände, »ſo wird es nicht ſchwer halten, die dieſen Vertheilungszuſtand anzeigende »Spannung zu erhöhen und ſo den Zuſtand ſichtbar zu machen. Wenn »z. B. deſtillirtes Waſſer angewandt, und eine lange ſchmale Portion »zwiſchen die Elektroden einer kräftigen Volta'ſche Batterie gebracht wird,

»ſo bekommt man ſogleich Anzeigen von der Intenſität, welche man an dieſen »Elektroden — — — erhalten kann, denn man kann Funken bekommen, »Goldblätter zum Divergiren bringen und Leidner Flaſchen laden u. ſ. w.« (Zwölfte Reihe von Experimentalunterſuchungen über Elektricität, 1345. P. A. XLVII. 47).

Faraday ſelbſt giebt alſo zu, daß der Zerſetzung in die eingeſchaltete Zerlegungsquelle, folglich auch in den einzelnen Zellen der Kette ſelbſt ein Polariſationszuſtand der Zerſetzung, alſo auch die Bildung des Stromes vorangeht. Man kann demnach conſequenterweiſe den Gegenſatz der Faraday'ſchen Theorie der Säule zur Contacttheorie nicht mehr darin ſuchen, daß Faraday die Circulation des Stromes von der chemiſchen Zerſetzung in der Zelle ableite. Die Contacttheorie nimmt wie Faraday an, daß bei der Hydrokette die Bildung des Stromes die Folge der chemiſchen Zerſetzung in die Zelle iſt, ſie nimmt wie Faraday an, daß dieſer Zerſetzung ein Spannungszuſtand vorangehen müſſe, und nur in Beziehung auf die Urſache dieſes Spannungszuſtandes, welche nichts anderes iſt als die elektromotoriſche Kraft, kann eine Meinungsverſchiedenheit zwiſchen Chemiſten und Contactiſten herrſchen.

102 **Schönbein's chemiſche Theorie.** Die Einwendungen wohl berückſichtigend, welche man gegen die chemiſche Theorie in ihrer früheren Form machen kann, hat Schönbein dieſelbe bedeutend modificirt und in dieſer einen Form in dem ſchon oben pag. 228. erwähnten Aufſatz vorgetragen.

Durch dieſe Schrift iſt der Streit der Contactiſten und Chemiſten in ein neues Stadium getreten und, wie mir ſcheint, eine Verſtändigung zwiſchen den Phyſikern angebahnt. Folgendes ſind die Grundzüge der Schönbein'ſchen Theorie, die wir ſeiner Schrift wörtlich entnehmen.

»Von welcher Art auch immer die Urſache oder die Kraft ſeyn mag, »durch welche die Elementarſtoffe befähiget werden, ſich unter einander zu »ſcheinbar gleichartigen Körpern zu vereinigen und in dem neuen Verbin»dungszuſtand zu verharren, ſo viel iſt gewiß, daß irgend eine Verände»rung in dieſem Zuſtande eintreten muß, wenn mit einem der beſagten »Körper ein drittes Element in Berührung gebracht wird, das gegen den »einen oder den andern Beſtandtheil der Verbindung eine merkliche chemi»ſche Anziehungskraft ausübt. Wählen wir, um unſere Ideen daran zu »erläutern, das Waſſer als Beiſpiel. Sauerſtoff und Waſſerſtoff ſind in »der genannten Verbindung mit einer gewiſſen Stärke zuſammengehalten, »oder es befinden ſich, wenn man die gleiche Sache anders ausdrücken »will, die chemiſchen Anziehungskräfte der erwähnten Elementarſtoffe im »Waſſer in einem gewiſſen Zuſtande des Gleichgewichtes. Bringt man »nun einen oxydirbaren Körper, wie z. B. Zink mit Waſſer, in Berührung,

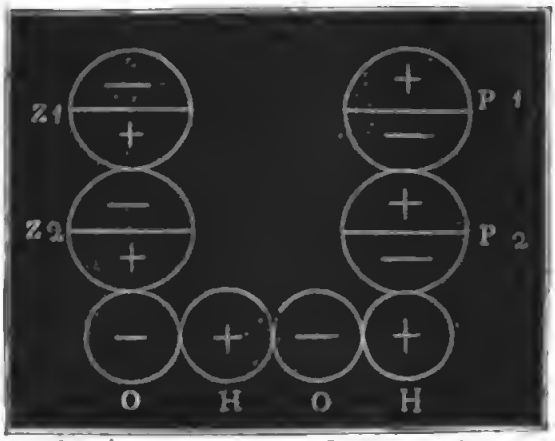
»ſo wird derſelbe eine chemiſche Anziehung von gewiſſer Stärke gegen den »Sauerſtoff des Waſſers ausüben. In Folge dieſer ſtattfindenden An»ziehung muß aber auch das chemiſche Verhältniß, das zwiſchen Sauerſtoff »und Waſſerſtoff vor der Anweſenheit des Zinkes in Waſſer beſteht, ver»ändert oder der Zuſtand des urſprünglichen chemiſchen Gleichgewichtes die»ſer Elemente auf irgend eine Weiſe modificirt oder geſtört werden. Es »wird mit andern Worten unter den vorhin angegebenen Umſtänden in »jedem Waſſertheilchen der Sauerſtoff nach zwei entgegengeſetzten Richtun»gin hingezogen, einmal nach dem mit dem Waſſermolecül in Berührung »ſtehenden Zinke, und dann nach dem in dieſem Molecül enthaltenen »Waſſerſtofftheilchen.

»Wie nun durch die geringſte mechaniſche Molecülarveränderung, die »in einem Körper ſtattfindet, das elektriſche Gleichgewicht deſſelben geſtört »wird, oder deſſen Theilchen elektriſch polariſirt werden, ſo hat auch die »beſprochene Veränderung, welche durch das Zink in der urſprünglichen »chemiſchen Thätigkeit des Sauerſtoffes zum Waſſerſtoff des Waſſers ver»urſacht wird, die elektriſche Polariſation der mit einander in Berührung »ſtehenden Materien zur Folge. Es werden die dem Waſſer zugekehrten »Zinktheilchen poſitiv, die Sauerſtoffſeiten der das Zink begränzenden »Waſſermolecüle negativ und die Waſſerſtoffſeiten der gleichen Molecüle »poſitiv polariſirt. Verſteht ſich von ſelbſt, daß die das Zink berühren»den Waſſertheilchen auf die ihnen benachbarten Waſſermolecüle einen »inducirenden Einfluß ausüben werden, dieſe letzteren wieder auf die nächſt»folgenden Theilchen, und ſo fort, bis alle unter einander zuſammenhän»genden Waſſermolecüle in dem Zuſtande elektriſcher Entzweiung oder der »Polariſation ſich befinden. Wie nun von der Stelle, wo Zink und Waſ»ſer ſich unmittelbar berühren, eine inducirende Wirkung durch die Waſſer»theilchen hindurch geht, ſo werden auch durch den Vorgang, der an dem »erwähnten Orte ſtattfindet, alle unter einander zuſammenhängenden »Zinktheilchen elektriſch polariſirt und zwar in der Weiſe, daß diejenige »Seite eines jeden ſolchen Theilchens, welche von dem Waſſer abgewendet »iſt, die negative Polarität, die dem Waſſer zugekehrte Seite aber die po»ſitive Polarität zeigt. Setzt man nun in dieſes ſo beſchaffene, das heißt, »polariſirte Waſſer einen guten Leiter, oder, was daſſelbe ſagen will, eine »leicht elektriſch polariſirbare Materie, welche gegen den Sauerſtoff des »Waſſers indifferent ſich verhält, ſo z. B. Platin, ſo werden die Seiten der »Theilchen dieſes Körpers, welche mit dem Waſſer in unmittelbarer Be»rührung ſtehen, negativ, und die ein- oder vom Waſſer abwärts gelege»nen Seiten der gleichen Theilchen poſitiv elektriſch werden, in Folge näm»lich einer inducirenden Wirkung, welche von dem polariſirten Waſſer auf »das eingetauchte Platin ausgeübt wird

»Natürlich treten alle übrigen Molecüle des Platins gleichfalls in den »Zuſtand elektriſcher Entzweiung, und zwar ſo, daß diejenige Seite jedes »Theilchens, welche vom Waſſer abgewendet iſt, poſitive Polarität, die »dem Waſſer zugekehrte Seite negative Polarität hat.

»Folgende Zeichnung dürfte von dem elektriſchen Zuſtande, in welchem »ſich die Theilchen des Zinkes, Waſſers und Platins befinden, eine klare »Vorſtellung geben:

Fig. 87.



»Es iſt eine für ſich ſelbſt »verſtandene Sache, daß der »Zuſtand aller Theilchen der »in Rede ſtehenden Vorrich»tung ſo lange andauert, als »die Urſache, welche die Po»lariſation hervorgerufen, fort»fährt wirkſam zu ſein, d. h. »ſo lange, als die chemiſche »Anziehung des Zinkes gegen »den Sauerſtoff des Waſſers »ſtattfindet. Hebt man aber »die Berührung zwiſchen Zink und Waſſer auf, ſo gleichen ſich die entge»gengeſetzt elektriſchen Zuſtände, in welchen ſich der Waſſer- und Sauerſtoff »jedes Waſſermolecüles befinden, ſofort aus; was zur nothwendigen Folge »hat, daß auch in den Platintheilchen ein ſolcher Ausgleichungsact ſtatt»findet.

»Setzt man dagegen z. B. das Theilchen Z^1 unſerer Vorrichtung mit »dem Theilchen P^1 in Berührung, ſo wird unter dieſen Umſtänden die ne»gative Seite von Z^1 mit der poſitiven Seite P^1 in Contact kommen, »und werden ſich die entgegengeſetzten Zuſtände beſagter Theilchen gegen»ſeitig aufheben. Im demſelben Augenblicke aber, in welchem dieſe Aus»gleichungsthätigkeit in den erwähnten Theilen ſtattfindet, muß dieſelbe »auch zwiſchen je zwei unmittelbar benachbarten Theilchen der ganzen Kette, »alſo auch zwiſchen der poſitiven Seite eines das Waſſer berührenden Zink»theilchens und dem mit letzterm in Contact ſtehenden negativen Sauer»ſtofftheilchen eines Waſſermolecüles erfolgen. Ebenſo gleicht ſich der »elektro-negative Zuſtand eines Platintheilchens mit dem poſitiven Zuſtand »des damit in Berührung ſtehenden Waſſerſtofftheilchens eines Waſſer»molecüles aus.

»Die elektriſche Ausgleichung nun, welche zwiſchen je einem Metall»theilchen und dem einen Beſtandtheil eines Waſſermolecüles ſtattfindet, »iſt ohne eine Zerlegung des letztern nicht möglich, indem eben dieſer Aus»

»gleichungsact als die wahre und letzte Urſache der elektriſchen Zerſetzung »des Waſſers betrachtet werden muß.«

— — — — — — — — — — — —

»Wie man leicht einſieht, iſt nach dieſer Betrachtungsweiſe die wirk»liche Verbindung des Sauerſtoffs mit dem Zink unſerer Kette nur als ſe»cundäre Wirkung des Stroms oder des elektriſchen Ausgleichungsactes »anzuſehen und nicht als die Urſache oder die Quelle des Stromes ſelbſt. »Iſt nun dieſe chemiſche Verbindung zwiſchen dem Sauerſtoff- und Zink»molecül vollzogen, und befindet ſich im Waſſer eine Materie, welche das »Zinkoxyd von ſeinem Bildungsorte zu entfernen vermag, ſo wird hierdurch »ein neues Zinktheilchen in Berührung mit einem Waſſermolecül geſetzt, wird »dieſes letztere, nebſt allen zwiſchen Zink und Platin liegenden Waſſerſtoff»theilchen aufs Neue elektriſch polariſirt; es erfolgt bei der Fortdauer der »Schließung der Kette abermals eine Ausgleichung der elektriſchen Gegen»ſätze zwiſchen je zwei benachbarten Theilchen des Volta'ſchen Kreiſes und »in Folge hiervon die Zerſetzung neuer Waſſermolecüle; und ſo geht Pola»riſirung und Depolariſirung, Volta'ſche Strömung und Elektrolyſe fort, »bis die hierzu nöthigen Bedingungen aufhören erfüllt zu werden.

»Setzen wir nun den Fall, daß man Waſſer zwiſchen zwei Metalle »ſtelle, welche genau eine gleich ſtarke Anziehung gegen den Sauerſtoff dieſer »Flüſſigkeit äußerten, ſo iſt klar, daß derſelbe unter dieſen Umſtänden nach »entgegengeſetzten Richtungen hin gleich ſtark gezogen würde, und daß mit»hin die auf die Waſſertheilchen von den Metallen ausgeübten Wirkungen »ſich gegenzeitig aufheben müßten, die Beſtandtheile dieſer Waſſermolecüle »alſo auch nicht polariſirt werden, und deshalb beim Schließen einer derar»tigen Kette weder Strömungen noch elektrolytiſche Thätigkeiten ſtattfinden »könnten.

»Brächte man aber Waſſer zwiſchen zwei Metalle, von denen das eine »Affinität zum Sauerſtoff der genannten Flüſſigkeit hat, größer als die»jenige, welche der andere metalliſche Körper zum gleichen Sauerſtoffe beſitzt, »ſo würde unter ſolchen Umſtänden das zwiſchen den Beſtandtheilen jedes »Waſſermolecüles beſtehende chemiſche Gleichgewicht geſtört werden, und »zwar in einem Grade, welcher dem Unterſchiede der Oxydirbarkeit beider in »Anwendung gebrachten Metalle proportional ſeyn müßte.

»Da nun die Störung dieſes chemiſchen Gleichgewichtes zwiſchen den »Beſtandtheilen der Waſſertheilchen auch die Aufhebung des elektriſchen »Gleichgewichtes nach ſich zieht, und dieſe um ſo bedeutender ausfällt, je »größer jene iſt, ſo folgt hieraus, daß der Grad der elektriſchen Polariſirung, »der zwiſchen zwei Metalle geſtellten Waſſermolecüle auch proportional ſeyn »muß dem Unterſchiede der Oxydirbarkeit der fraglichen metalliſchen Körper; »oder, um die gleiche Sache anders auszudrücken, daß die Größe der elektri-

»ſchen Spannnng, in welche die Theile einer offenen Kette zu einander tre»ten, gemeſſen wird durch die Größe des Unterſchiedes, welcher zwiſchen den »Graden der Oxydirbarkeit der in die Conſtruction der Kette eingehenden »Metalle beſteht.

— — — — — — — — — — — — —

»Steht nun wirklich die Oxydirbarkeit eines Metalles in dem von mir »angenommenen Zuſammenhange mit ſeinem Volta'ſchen Verhalten, ſo »iſt es eine von ſelbſt verſtandene Sache, daß die Stelle, welche ein metal»liſcher Körper in der elektriſchen Spannungsreihe der Contactiſten einnimmt, »auch den Grad bezeichnet, welcher demſelben Metalle in der Skale der »Oxydirbarkeit der metalliſchen Subſtanzen zukommt. Vergleichen wir nun »die Spannungsreihe der Metalle, welche man erhält, wenn dieſelbe mit »Waſſer auf galvanoſkopiſchem Wege ermittelt wird, mit der Skale der »Oxydirbarkeit der gleichen Körper, wie ſie ſich aus den gewöhnlichen chemi»ſchen Erſcheinungen ableiten läßt, ſo kann unſerem Blicke unmöglich die »große Uebereinſtimmung entgehen, welche zwiſchen beiden Reihen beſteht.«

— — — — — — — — — — — — —

»Da wir nun eine Anzahl von Elektrolyten haben, in welchen andere »Metalloide als der Sauerſtoff die Rolle des Anions ſpielen, wie dies z. B. »die einfachen Salzbilder, der Schwefel und das Selen, in ihren Verbin»dungen mit Waſſerſtoff thun, ſo folgt aus den vorhin gemachten Bemer»kungen, daß die elektriſchen Spannungsreihen der Metalle mit verſchiede»nen Elektrolyten ermittelt, nicht völlig mit einander übereinſtimmend aus»fallen können. Dieſer Mangel an Uebereinſtimmung iſt wirklich durch »vielfache Verſuche außer allen Zweifel geſtellt worden, und nicht ganz klein »iſt die Zahl von Fällen, in welchen dieſelben zwei Metalle ein verſchieden»artiges Volta'ſches Verhalten gegen einander zeigen, wenn dieſelben in »verſchiedene elektrolytiſche Flüſſigkeiten gebracht werden; ſo alſo, daß das »gleiche Metall, welches in der einen Flüſſigkeit z. B. poſitiv gegen das »zweite Metall ſich verhält, in der anderen Flüſſigkeit ein umgekehrtes Ver»halten zeigt.

»Der Fall einer Verwechslung der Volta'ſchen Rolle, welche dieſelben »zwei Metalle in zwei verſchiedenen Flüſſigkeiten ſpielen, muß, gemäß den »obigen Auseinanderſetzungen, immer dann eintreten, wenn das chemiſche »Verhalten dieſer Metalle zu den Anionen der in Anwendung gebrachten »Elektrolyten ſich nicht gleich iſt, d. h. wenn die Verwandtſchaft eines und »deſſelben Metalles zu den beiden Anionen der Elektrolyten die Affinität »des anderen Metalles zu den gleichen Anionen nicht übertrifft, oder das »entgegengeſetzte Verhalten zeigt.

»Die Erfahrung lehrt allerdings, daß im Allgemeinen die Verwandt»ſchaftsverhältniſſe, welche zwiſchen den Metallen und dem Sauerſtoffe be»

»ſteben, auch ähnlich ſind denjenigen, welche zwiſchen jenen Körpern und »den Salzbildern, dem Schwefel, Selen u. ſ. w. ſtattfinden, woher es eben »kommt, daß das Volta'ſche Verhalten, welches die Metalle in nicht ſauer»ſtoffhaltigen elektrolytiſchen Flüſſigkeiten zeigen, ſo häufig übereinſtimmen »mit demjenigen, welches dieſelben Körper im Waſſer bemerken laſſen.

— — — — — — — — — — — — —

»Betrachten wir nun diejenigen Ketten, welche aus einem Metalle und »zwei elektrolytiſchen Flüſſigkeiten beſtehen.

»Als das intereſſanteſte Beiſpiel deſſelben iſt gewiß diejenige zu be»trachten, die man aus Waſſer, Salzſäure und Gold erhält.«

»Dieſe Kette liefert erfahrungsgemäß einen Strom, der vom Gold in »Salzſäure und von dieſer in das Waſſer geht. Dieſer Strom iſt aller»dings ſchwach, und hört wegen der ſchnell erfolgenden poſitiven Polariſa»tion des Goldes, welches in das Waſſer taucht, bald auf eine meßbare »Stärke zu haben.

»Die Entſtehung des fraglichen Stromes beruht auf der einfachen »Thatſache, daß das Gold zum Chlor der Salzſäure eine chemiſche Ver»wandtſchaft beſitzt, größer als diejenige, welche daſſelbe Metall zum Sauer»ſtoffe des Waſſers hat.

— —•— — — — — — — — — — —

»Aus voranſtehender Erörterung läßt ſich leicht abnehmen, daß alle »Volta'ſchen Vorrichtungen, welche aus zwei verſchiedenen Elektrolyten »und einem Metalle zuſammengeſetzt ſind, wirkſame Ketten bilden müſſen, »falls das hierbei angewendete Metall zu dem Anion des einen elektrolyti»ſchen Körpers eine chemiſche Verwandtſchaft beſitzt, größer als die Affinität »des gleichen Metalles zu dem Anion des anderen Elektrolyten. Auch wird »aus dieſer Erörterung ferner klar, daß die Stärke des auftretenden Stro»mes proportional ſein muß dem Unterſchiede, welcher zwiſchen den beiden »eben erwähnten Affinitätsgrößen ſtattfindet.

— — — — — — — — — — — — —

»Es wird wohl kaum der ausdrücklichen Erwähnung bedürfen, daß »auch andere als metalliſche Körper an das eine oder das andere Ende einer »ſtetigen Reihe elektrolytiſcher Molecüle geſtellt werden können, um dieſe zu »polariſiren. Je nach dem chemiſchen Verhalten, das ſolche Körper zu dem »Anion oder Kathion eines Elektrolyten zeigen, werden deſſen Molecüle in »dieſem oder jenem Sinne polariſirt werden.

»Wird mit dem einen Ende einer Reihe von Waſſertheilchen z. B. »Chlor in Berührung gebracht, ſo muß unter dieſen Umſtänden eine Stö»rung des chemiſchen Gleichgewichtes dieſer Molecüle ſtattfinden, und müſ»ſen ſich deren Waſſerſtoffſeiten nach dem Chlore richten. Setzt man nun »das eine Ende eines Platinbogens mit dem Chlor, und das andere Ende

»des gleichen Bogens mit irgend einem Waſſertheilchen der erwähnten Reihe »in Berührung, ſo wird ein Strom entſtehen müſſen, der von dieſem an»deren Ende des Platinbogens durch das Waſſer zum Chlore geht, während »dieſes mit dem Waſſerſtoff des Waſſers ſich chemiſch vereinigt.

»Befindet ſich dagegen an dem Ende einer ſtetigen Reihe von Waſ»ſermolecülen eine nichtmetalliſche Subſtanz, die zum Anion dieſer Reihe »irgend eine chemiſche Anziehung ausübt, ſo wird eine Polariſation der »Waſſertheilchen ſtattfinden, welche entgegengeſetzt iſt derjenigen, die in dem »vorhin betrachteten Falle das Chlor veranlaßt.

»Eine ſolche Subſtanz iſt z. B. die ſchweflichte Säure, welche das »Beſtreben hat, mit dem Sauerſtoffe des Waſſers ſich zu verbinden. Dieſes »Beſtreben iſt hinreichend, um die Waſſertheilchen zu polariſiren, und unter »den geeigneten Umſtänden einen Strom in Bewegung zu ſetzen.

»Stellt man an das Ende einer Reihe von Waſſermolecülen einen »Körper, welcher zu dem Anion derſelben, an das andere Ende dieſer Reihe »eine Subſtanz, die zu dem Kathion dieſer Molecüle eine chemiſche Anzie»hung äußert, ſo iſt klar, daß die fragliche Reihe der elektrolytiſchen Waſſer»theilchen unter einem gedoppelten polariſirenden Einfluß ſich befindet, und »die hierbei ins Spiel kommenden elektromotoriſchen Kräfte ſich gegenſeitig »verſtärken. Eine Reihe ſolcher elektrolytiſcher Molecüle, die an dem einen »ihrer Enden z. B. Chlor, an dem anderen Ende ſchweflichte Säure hat, »muß daher, wenn durch einen leitenden Bogen zum Volta'ſchen Kreiſe »geſchloſſen, einen Strom erregen, ſtärker als derjenige, welcher auftritt in »dem Falle, wo entweder nur Chlor oder nur ſchweflichte Säure unter ſonſt »gleichbleibenden Umſtänden zur Anwendung kommt.

»Es iſt kaum nöthig zu bemerken, daß meine Waſſerſtoffplatinkette, »wie auch die neue Grove'ſche Gasſäule, Volta'ſche Vorrichtungen ſind, »welche, obwohl einige Eigenthümlichkeiten darbietend, dennoch in die Klaſſe »der vorhin beſprochenen Combinationen gehören.«

Endlich beſpricht Schönbein noch die ſogenannten Hyperoxydketten. Taucht man eine reine und eine mit einer Hülle von Bleihyperoxyd verſehene Platinplatte in Waſſer, ſo wird ein Strom entſtehen, ſobald man die beiden Metallplatten metalliſch verbindet, und zwar geht der poſitive Strom von der reinen Platinplatte durch die Flüſſigkeit zu der mit Hyperoxyd überzogenen.

Die Strombildung ſowohl, wie auch die Richtung derſelben erklärt ſich leicht.

Es iſt bekannt, daß die Hälfte des Sauerſtoffs im Hyperoxyd große Geneigtheit zeigt, ſich abzutrennen und mit oxydirbaren Körpern zu verbinden; Schönbein hat ferner gezeigt, daß das zweite Miſchungsgewicht Sauerſtoff im fraglichen Hyperoxyd eine größere Verwandtſchaft gegen oxy-

dirbare Stoffe äußert, als ſelbſt ungebundener oder freier Sauerſtoff; das Hyperoxyd wird alſo polariſirend auf die Waſſertheilchen wirken, und zwar ſo, daß ſie ihre Waſſerſtoffſeite gegen das Hyperoxyd kehren.

Andere Hyperoxyde verhalten ſich auf gleiche Weiſe.

Vergleichung der Schönbein'ſchen Theorie mit der Contact- 103
theorie. Vergleichen wir nun die Schönbein'ſche Theorie mit der Contacttheorie, wie ſie in meinem Lehrbuche vertreten iſt, ſo müſſen wir geſtehen, daß beide vollkommen parallel laufen, daß die Erſcheinungen der offenen und der geſchloſſenen Kette durch beide gleich gut erklärbar ſind; denn Schönbein verlegt nur den Ort der Elektricitätserregung von der Berührungsſtelle der Metalle an die Berührungsſtelle zwiſchen Metall und Flüſſigkeit. Darin aber iſt Schönbein's Theorie entſchieden im Vortheil, daß ſie in allen Volta'ſchen Combinationen die Richtung des Stromes aus den chemiſchen Beziehungen der die Kette bildenden Subſtanzen zum Voraus beſtimmen kann, während der Contacttheorie ein ſolches Princip fehlt.

Daß dieſelben Metalle bald einen Strom nach der einen bald nach der andern Richtung geben, je nachdem man zwiſchen dieſelben dieſe oder jene Flüſſigkeit bringt, erklärt ſich nach den modificirten Contacttheorieen ganz gut aus dem verſchiedenen elektromotoriſchen Verhalten der Flüſſigkeiten zu den Metallen, die Schönbein'ſche Theorie läßt uns aber nicht allein die Möglichkeit einer Stromumkehrung durch den Wechſel der Flüſſigkeit einſehen, ſondern ſie ſagt uns auch, in welchen Fällen und warum die Stromumkehrung ſtattfindet.

Die Schönbein'ſche Theorie beſtimmt alſo immer a priori ſchon nach der chemiſchen Natur der Stoffe, welche die Kette bilden, die Richtung des Stromes, mag nun die Kettte aus zwei Metallen und einer Flüſſigkeit oder aus zwei Flüſſigkeiten und einem Metalle gebildet ſeyn, während uns die Contacttheorie in manchen Fällen in ſo weit im Stich läßt, daß ſie nicht im Stande iſt aus einem allgemeinen Grundſatz für alle Fälle die Richtung des Stroms zum Voraus zu beſtimmen und daß es in ſolchen Fällen (z. B. bei Ketten aus Waſſer, Salzſäure und Gold; Waſſer, ſchweflichte Säure in Platin) erſt eines Verſuchs bedarf, um über die Richtung des Stromes Auskunft zu erhalten.

Dieſen Betrachtungen zufolge ſollte man meinen, es könne gar kein Zweifel mehr obwalten, für welche der beiden Theorien man ſich zu entſcheiden habe, ob für Schönbein's chemiſche Theorie oder für die modificirte Contacttheorie. Deſſen ungeachtet kann ich es, ſo zu ſagen, doch noch nicht auf mein phyſikaliſches Gewiſſen nehmen, mich unbedingt für Schönbein's Theorie auszuſprechen, weil ſie eine wohlbegründete Thatſache, den Volta'ſchen Fundamentalverſuch gänz-

lich ignorirt und von demſelben nicht entfernt eine Erklärung zu geben im Stande iſt.

Daß eine Elektricitätserregung ſtattfindet, wenn verſchiedene Metalle mit einander in Berührung kommen, iſt eine durch directe in mannichfachen Formen angeſtellte Verſuche hinlänglich conſtatirte Thatſache, die man weder ignoriren darf, noch durch ſolche Künſteleien in der Deutung des Verſuchs beſeitigen kann, wie es die Gegner der Contacttheorie gethan haben.

Hier möchte ſich aber, meiner Anſicht nach, ein ſehr einfacher Ausweg bieten. Steht denn der Fundamentalverſuch im Widerſpruch mit der Schönbein'ſchen Theorie? — Keineswegs! — Alle Sätze der Schönbein'ſchen Theorie zugegeben, wird durch dieſelbe die Möglichkeit nicht ausgeſchloſſen, daß eine elektriſche Spannung eintritt, wenn zwei Metalle von verſchiedener Oxydirbarkeit mit einander in Berührung gebracht werden. — Nimmt man in die Schönbein'ſche Theorie dieſen Satz noch auf, ſo genügt ſie allen bis jetzt bekannten Thatſachen.

Betrachten wir nach dieſer Anſicht den Vorgang, welcher bei Schließung einer einfachen Kette ſtattfindet. Bringt man mit Waſſer auf der einen Seite eine Zinkplatte, auf der andern Seite eine Platinplatte in Berührung, ſo wird eine elektriſche Polariſation eintreten, wie ſie durch Figur 88 angedeutet iſt, nur müſſen wir von der Polariſation der einzelnen Zinktheilchen und der einzelnen Platintheilchen abſtrahiren, welche meines Wiſſens auch durch keine Thatſache gefordert wird. Statt der Fig. 88 würde uns Fig. 89 den Polariſationszuſtand darſtellen; die elektriſche Polarität der Waſſertheilchen ſowohl als auch der Metallplatten iſt jedoch in dieſem Falle noch gering. Sobald man aber *Z* und *P* in Berührung bringt, wird das Zink bedeutend ſtärker poſitiv, die

Fig. 88.

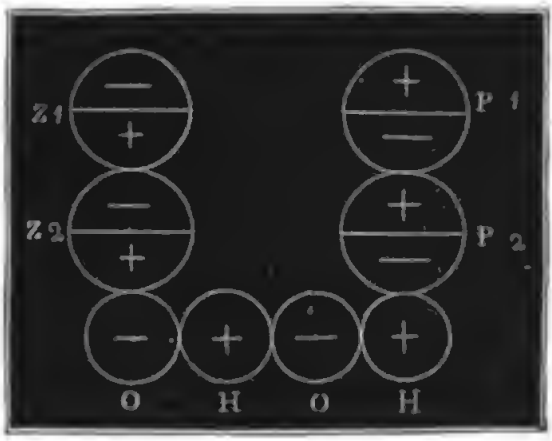
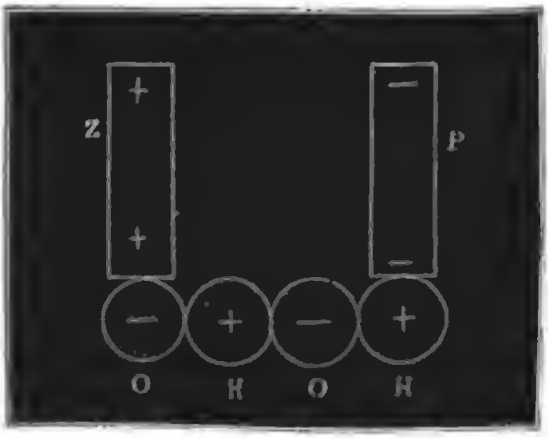


Fig. 89.



Platinplatte wird ſtärker negativ und in Folge deſſen wird auch die Polariſation der Waſſertheilchen zwiſchen beiden Platten bedeutend verſtärkt.

Ich habe hier den Weg nur angedeutet, auf welchem mir eine Ausgleichung der Differenzpunkte beider ſtreitenden Theorien möglich ſcheint, eine vollſtändige Durchführung dieſer Idee mir für ſpäter vorbehaltend.

Von manchen Seiten wird man wohl einen ſolchen Vermittelungsverſuch als ein verwerfliches juste milieu bezeichnen, welches zwiſchen den extremen Partheien zu laviren ſuche. Dagegen habe ich zu erwidern, daß der Naturforſcher beim Aufbau ſeiner Theorie alle Thatſachen berückſichtigen muß. Thut man dies, ſo kann man ſich nicht unbedingt für eine chemiſche Theorie entſcheiden, welche den Fundamentalverſuch ignorirt, man kann aber auf der andern Seite auch nicht unbedingter Anhänger der Contacttheorie in ihrer bisherigen Form bleiben, man wird die eine oder die andere der beiden Theorien ſoweit modificiren müſſen, daß ſie alle bekannten Thatſachen umfaßt, wie ich es verſucht habe. Ob ich bei dieſem Verſuch den richtigen Weg eingeſchlagen habe, laſſe ich freilich dahingeſtellt ſeyn.

Der Name Contactelektricität, Berührungselektricität iſt jedenfalls ein ganz unpaſſender und mag nicht wenig zur Verwirrung der Streitfrage beigetragen haben; eigentlich iſt jede Elektricität, wo und wie ſie auch auftreten mag, Berührungselektricität, denn zur Erregung von Elektricität hat man unter allen Umſtänden zwei verſchiedenartige Körper nöthig, welche in Berührung gebracht werden müſſen: bei den Elektriſirmaſchinen Glas und Amalgam, bei der Volta'ſchen Säule zwei Metalle und eine Flüſſigkeit, bei der Thermoſäule verſchiedenartige Metallſtäbe. — Ueberall wo heterogene Körper in Berührung gebracht werden, findet wohl eine Elektricitätsentwickelung ſtatt, es wird ſich aber alsbald ein elektriſcher Gleichgewichtszuſtand einſtellen. Soll eine fortdauernde Elektricitätserregung ſtattfinden, ſo muß dieſer Gleichgewichtszuſtand fortwährend geſtört werden; dies findet bei der Reibungselektricität dadurch ſtatt, daß die ſich eben ſehr innig berührenden Stellen der heterogenen Körper außer Berührung gebracht werden; bei der Hydrokette durch die Zerſetzung des Elektrolyten. Bei der Thermoſäule wird die Strömung des elektriſchen Gleichgewichts durch die Strömung des thermiſchen Gleichgewichtes bedingt.

Zweiter Abſchnitt.

Beſtimmung der Conſtanten Volta'ſcher Ketten.

---

104 **Einheit der Stromſtärke.** Will man verſchiedene Stromſtärken vergleichen, ſo muß man ſich vor allen Dingen über ein gemeinſchaftliches Maaß für dieſelbe verſtändigen. Bis jetzt ſind meines Wiſſens drei verſchiedene Stromeinheiten in Vorſchlag und Anwendung gebracht worden, welche wir etwas näher betrachten wollen.

Pouillet ſchlägt als Stromeinheit den Strom vor (P. A. XLII. S. 281), den ein thermoelektriſches Element von Kupfer und Wismuth liefert, welches ſo geſchloſſen iſt, daß der Geſammtwiderſtand gleich dem eines 20 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes iſt, wenn die eine Löthſtelle auf einer Temperatur von 100^{0}, die andere auf einer Temperatur von 0^{0} erhalten wird.

Jacobi (P. A. XLVIII. 26) vergleicht die Ablenkung einer Nerwander'ſchen Tangentenbouſſole mit der Waſſerzerſetzung, welche der Strom gleichzeitig hervorbringt, er reducirt alſo die Angaben der Tangentenbouſſole auf chemiſchen Effect. Als Einheit der Stromſtärke nimmt er dabei denjenigen Strom an, welcher in 1 Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas (von 0^{0} Temperatur bei einem Luftdruck von 760^{mm}) liefert.

Weber nimmt zur Einheit der Stromſtärke denjenigen Strom, welcher die Einheit der Fläche umkreiſend in der Ferne dieſelbe Wirkung hervorbringt, wie die Einheit des freien Magnetismus.

Um zu erläutern, was Weber unter der Einheit des freien Magnetismus verſteht, müſſen wir etwas weiter ausholen.

Ein nördlich oder ſüdlich von einer Magnetnadel befindlicher Magnetſtab, deſſen Axe rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſteht, wie dies Fig. 90 (a. f. S.) dargeſtellt iſt, wird ein Beſtreben äußern, die Nadel aus dem magnetiſchen Meridian abzulenken, während der Erdmagnetismus ſie in demſelben zurückzuführen ſtrebt. Die Größe der

Ablenkung hängt von dem Verhältniß beider Kräfte ab, und zwar ist die Tangente des Ablenkungswinkels der Quotient der Erdkraft in die Stabkraft, also

Fig. 90.

$$\frac{f}{T} = tang.\ v \ldots\ldots 1)$$

wenn wir mit v den Ablenkungswinkel bezeichnen, mit f die Kraft, mit welcher der Stab der Nadel aus dem magnetischen Meridian herauszudrehen, und mit T die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus dieselbe zurückzuführen strebt. (Das Nähere in meinem Lehrbuche der Physik 3te Aufl. 2. Bd. S. 40 u. f.)

Nun ist aber die Wirkung des Stabs auf die Nadel der dritten Potenz der Entfernung von derselben proportional, so lange diese Entfernung einigermaßen groß ist im Vergleich zu den Dimensionen des Stabes und der Nadel. Bezeichnen wir mit r diese Entfernung, so muß also das Product fr^3 eine constante Größe seyn, die wir mit M bezeichnen wollen. —

Dieses Product fr^3 oder M bezeichnet aber nichts anderes als das Drehungsmoment, welches der Stab auf die Nadel ausüben würde, wenn er sich in der Entfernung 1 von ihr befände, und seine Wirkung bei dieser Annäherung wirklich stets in demselben Verhältniß zugenommen hätte, in welchem der Kubus der Entfernung abnahm. Dieß Verhältniß zwischen Wirkung und Entfernung findet nun in der That für kleine Entfernungen nicht mehr statt, dieß hindert aber nicht, das auf die Einheit reducirte Drehungsmoment fr^3 oder M für ein Maaß des Stabmagnetismus zu benutzen.

Multiplicirt man Gleichung 1 mit r^3 und setzt man $fr^3 = M$, so kommt

$$\frac{M}{T} = r^3\ tang.\ v$$

oder

$$M = T\ r^3\ tang.\ v \ldots\ldots 2)$$

Nehmen wir an, der ablenkende Stab und die Nadel seyen gleich stark magnetisch, ferner der Magnetismus in beiden sey gerade so stark entwickelt, daß das reducirte Drehungsmoment M gleich ist dem Druck, welchen die Masse eines Milligramms an einem Hebelarm von 1^{mm} angreifend hervorbringen würde, wenn auf diese Masse statt der beschleunigenden Kraft der Schwere eine Kraft wirkte, un-

ter deren Einfluß der doppelte Fallraum der erſten Secunde gleich der Längeneinheit (1^{mm}) wäre, ſo iſt dies die Einheit des freien Magnetismus.

Mit dieſer Einheit iſt auch die erdmagnetiſche Kraft zu meſſen oder, mit anderen Worten, T iſt in dieſer Einheit auszudrücken. Wie der Zahlenwerth von T beſtimmt wird, wenn man das eben definirte abſolute Maaß zu Grunde legt, findet man in Weber's Originalabhandlungen über dieſen Gegenſtand, und in elementarer Darſtellung in meinem Lehrbuch der Phyſik (3te Aufl. 2ter Band Seite 48).

Iſt der Werth von T nach abſolutem Maaß beſtimmt, ſo giebt uns die Gleichung 2 das reducirte Drehungsmoment eines Magnetſtabs in derſelben Einheit ausgedrückt.

Die Größe M hat aber noch eine andere Bedeutung als die bisher beſprochene. Es iſt nämlich $C = T \cdot M$ das Drehungsmoment, mit welchem der Erdmagnetismus den rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſtehenden Stab aus dieſer Lage herauszudrehen ſtrebt (Lehrbuch der Phyſik 3te Aufl. 2ter Band Seite 44). M bezeichnet alſo die Größe dieſes Drehungsmomentes für den Fall, daß $T = 1$ wäre.

Wenn man alſo beobachtet hat, um wie viel Grade eine Magnetnadel durch einen nördlich oder ſüdlich von ihm in der Lage Fig. 90 befindlichen Stab abgelenkt wird, ſo kann man nach dieſer Beobachtung mittelſt der Gleichung 2 das Drehungsmoment berechnen, mit welchem der Erdmagnetismus den Stab, welcher rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian liegt, aus dieſer Lage herauszudrehen ſtrebt.

Bringt man den Magnetſtab öſtlich oder weſtlich von der Magnetnadel an, alſo in eine ſolche Lage, wie ſie Fig. 91 dargeſtellt iſt, ſo lenkt nun der Stab bei gleicher Entfernung die Nadel ſtärker ab, und zwar ſo, daß die Tangente des Ablenkungswinkels u jetzt doppelt ſo groß iſt als die Tangente des

Fig. 91.

Ablenkungswinkels v, welchen derſelbe Stab bei gleicher Entfernung, aber in der Lage Fig. 90, hervorgebracht haben würde; unter übrigens gleichen Umſtänden, iſt alſo $tang.\ v = \frac{tang.\ u}{2}$, hat man alſo die Ablenkungsverſuche nicht in der Lage Fig. 90, ſondern in der Lage Fig. 91 gemacht, ſo ergiebt ſich nun

$$M = \frac{T r^3\ tang.\ u}{2}.$$

Das Verhalten des Kreisſtromes, welcher den in der Ebene des mag-

netischen Meridians liegenden Ring der Tangentenbousſole durchläuft, gegen den Erdmagnetismus sowohl wie gegen die Magnetnadel in seiner Mitte läßt sich nun mit der Wirkung des in der Lage Fig. 91 befindlichen Magnetstabes vergleichen.

Wenn der Kreisstrom der Tangentenbousſole die Nadel um u Grade ablenkt, so ist (Lehrbuch der Physik 3te Aufl. 2ter Band S. 203)

$$tang.\ u = \frac{2\pi g}{rT},$$

wenn g die Stromstärke und r den Halbmesser des Ringes bezeichnet; wir haben also für das reducirte Drehungsmoment des Kreisstromes G, welches dem Drehungsmomente M eines Magnetstabes entspricht

$$G = \frac{Tr^3\ tang.\ u}{2} = \pi r^2 g \ldots . 3).$$

Es ist dies G die Kraft, mit welcher unter den oben angegebenen Verhältnissen der Kreisstrom aus der Ebene des magnetischen Meridians herausgedreht werden würde, wenn die magnetische Erdkraft $= 1$ wäre.

Wenn $\pi r^2 = 1$ so wird $G = g$, es ist demnach g das Moment eines Kreisstromes, welcher die Einheit der Fläche umkreist.

Aus Gleichung 3 erhalten wir für g den Werth

$$g = \frac{T\ .\ r\ .\ tang.\ u}{2\pi} \ldots . 4),$$

wir erhalten also einen Werth für die Stromstärke g, gemessen durch das Drehungsmoment eines die Flächeneinheit umkreisenden Stromes dieser Stärke, in absolutem Maaß ausgedrückt, wenn man für T seinen Werth in absolutem Maaße setzt. —

Vergleichung der verschiedenen Stromeinheiten. Theoretisch 105
sind diese drei verschiedenen Einheiten der Stromstärke vollkommen scharf bestimmt, wenn man also nur vom rein wissenschaftlichen Standpunkte aus die Sache betrachtet, erscheint jede dieser Einheiten annehmbar, der Vorzug gebührt aber von diesem Standpunkte aus jedenfalls der Weber'schen Einheit.

Anders aber wird man wohl wählen müssen, wenn man auch die praktischen Bedürfnisse gehörig würdigt.

Die galvanischen Ketten sind vielfach in die Technik eingetreten, es ist also von hoher praktischer Bedeutung, Methoden zu besitzen, nach welchen man die Constanten einer galvanischen Kette mit Genauigkeit bestimmen kann. — Leider sind solche Methoden bis jetzt noch sehr wenig verbreitet, und so kommt es denn, daß wir von vielen verschiedenen Constructionen galvanischer Apparate wohl Beschreibungen ihrer Wirksamkeit haben, aber keine solche, welche eine genaue Vergleichung derselben mit andern Appa-

raten geſtatten, und eine Folge davon iſt, daß man ſich vielfach über den Werth galvaniſcher Apparate täuſcht.

Zur Ermittlung der Conſtanten der galvaniſchen Ketten muß man ſich vor allem über eine Stromeinheit verſtändigen, wenn die von verſchiedenen Beobachtungen an verſchiedenen Orten mit verſchiedenen Inſtrumenten gemachten Beobachtungen vergleichbar ſeyn ſollen. Soll aber eine ſolche Stromeinheit populär werden, ſoll ſie auch für Praktiker zugänglich ſeyn, welche zwar mit den Grundgeſetzen der Elektricitätslehre bekannt ſind, aber doch nicht in die Specialitäten der Wiſſenſchaft eindringen können, ſo darf man nur eine ſolche Stromeinheit wählen, deren Definition leicht und allgemein verſtändlich iſt; ferner muß dieſe Einheit aber auch eine ſolche ſeyn, daß die Beſtimmung der Stromſtärke nach derſelben mit einem möglichſt geringen Aufwand von Apparaten möglich iſt.

Von dieſem Geſichtspunkte aus muß man wohl der von Jakobi zuerſt in Anwendung gebrachten Stromeinheit unbedingt den Vorzug geben. — Ich will verſuchen dieſe Behauptung zu rechtfertigen.

106 **Reduction der Pouillet'ſchen Stromeinheit auf chemiſches Maaß.** Um die Angaben irgend einer Buſſole mit der Pouillet'ſchen Einheit zu vergleichen, muß man ein thermoelektriſches Element haben, welches genau gleich iſt dem von Pouillet angewandten, und muß dafür ſorgen, daß der Geſammtwiderſtand der Kette mit Inbegriff des Buſſolen- oder Multiplicatordrahtes gleich iſt dem Widerſtande eines 20 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes — Nun iſt aber der Strom, welchen ein ſolches thermoelektriſches Element unter den angegebenen Bedingungen hervorbringt, außerordentlich ſchwach, oder wenigſtens ungleich ſchwächer als die Ströme hydroelektiſcher Ketten, welche irgend einen praktiſch anwendbaren Effect liefern ſollen, an ſolchen Inſtrumenten alſo, an welchen man gewöhnlich die Stromſtärke hydroelektiſcher Ketten mißt, wie Tangenbuſſolen, Sinusbuſſolen, oder Mohr's Torſionsgalvanometer wird alſo die Pouillet'ſche Stromeinheit nur eine ſehr geringe Ablenkung hervorbringen. Dieſe Einheit der Stromſtärke bringt z. B. an einer Weber'ſchen Tangentenbuſſole, welche einen Ring von 40 Centimeter Durchmeſſer hat, eine Ablenkung von ungefähr 5 bis 7 Minuten, an Mohr's Torſionsgalvanometer eine Ablenkung von ungefähr $1\frac{1}{2}$ Grad hervor, man müßte alſo an dieſen Inſtrumenten ſehr kleine Unterabtheilungen eines Grades noch mit Genauigkeit ableſen können, wenn man dieſen Ablenkungswinkel hinlänglich genau beſtimmen wollte, um ihn ſelbſt oder ſeine Tangente bei der Meſſung ſtärkerer Ströme als Einheit zu Grunde zu legen.

Da nun die Inſtrumente keine hinlänglich genaue Ableſung ſo kleiner

Winkel geſtatten, ſo muß man einen indirecten Weg einſchlagen. Am einfachſten möchte wohl folgende Methode zum Ziele führen:

Man laſſe den Strom des thermoelektriſchen Elementes, welcher als Einheit dienen ſoll, durch einen Multiplicator gehen und beobachte die hervorgebrachte Ablenkung: ſie ſey 16°. Der Geſammtwiderſtand iſt hier gleich dem Widerſtand eines 20 Meter langen Kupferdrahtes von 1^{mm} Durchmeſſer.

Nun laſſe man auch den Strom eines hydroelektriſchen Elementes durch denſelben Multiplicator gehen, ſchalte aber in Form von Platin oder Neuſilberdraht ſoviel Widerſtand ein, daß die Ablenkung eben ſo groß iſt, als die von dem thermoelektriſchen Elemente hervorgebrachte, daß ſie in unſerem Beiſpiel alſo ebenfalls 16° beträgt.

Der Geſammtwiderſtand, welchen jetzt der hydroelektriſche Strom zu überwinden hat, muß ermittelt und auf Kupferdraht reducirt werden: er ſey gleich dem Widerſtand eines Kupferdrahtes von 1^{mm} Durchmeſſer und einer Länge von 22000 Meter.

Macht man den Geſammtwiderſtand durch Wegnahme von Draht geringer, ſo wird der Strom in gleichem Maaße ſtärker werden. Macht man z. B den Widerſtand 200mal geringer, ſo alſo, daß der von dem Strom des hydroelektriſchen Elementes zu überwindende Geſammtwiderſtand nur noch gleich iſt dem Widerſtand eines 110 Meter langen Normalkupferdrahtes, ſo wird jetzt der Strom auch 200mal ſtärker ſeyn als derjenige, welcher am Multiplicator 16° Ablenkung hervorbrachte. Dieſer Strom wird an jedem zur Meſſung ſtärkerer Ströme geeigneten Inſtrumente, alſo auch an einer Weber'ſchen Tangentenbuſſole eine bedeutende Ablenkung hervorbringen; ſie ſey 19°.

Ein Strom alſo, welcher an der Tangentenbuſſole einen Ablenkungswinkel von 19° giebt, deſſen trigonometriſche Tangente = 0,344, iſt 200mal ſtärker als die Stromeinheit, die Tangente des Winkels, welcher die Stromeinheit entſpricht, iſt alſo $\frac{0{,}344}{200} = 0{,}00172$.

Nach dieſer Beſtimmung ſind nun alle Angaben der Tangentenbuſſole leicht auf die Pouillet'ſche Stromeinheit zu reduciren.

Pouillet wandte bei allen ſeinen Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand nicht Tangentenbuſſolen ſondern Sinusbuſſolen an.

Um in einer Minute 1 Gramm Waſſer zu zerſetzen, muß der durch das Waſſer hindurchgeleitete Strom eine Stärke = 13787 Pouillet'ſcher Einheiten haben. Ein jedes Gramm Waſſer liefert 1862,4 Kubikcentimeter Knallgas (von 0° und einem Luftdruck von 760^{mm}); folglich iſt, um 1 Kubikcentim. Knallgas per Minute zu liefern, eine Stromſtärke von $\frac{13787}{1862{,}4} = 7{,}4$ Pouillet'ſchen Einheiten nöthig.

Die obigen Auseinanderſetzungen werden wohl genügen, um darzuthun, daß die Reduction der Angaben irgend eines für ſtärkere Ströme brauchbaren Rheometers auf die Pouillet'ſche Stromeinheit nur durch eine ganze Reihe keineswegs ganz einfacher Operationen erhalten werden kann. Zunächſt muß man den Widerſtand des thermo-elektriſchen Elementes, und des Multiplicators beſtimmen und ſo viel Widerſtand noch hinzufügen, daß die Summe der Widerſtände den oben angegebenen Werth hat, ſodann muß man den Leitungswiderſtand des hydroelektriſchen Elementes ermitteln, und nachdem man in ſeinen Schließungsbogen noch ſo viel Widerſtand eingeſchaltet hat, die Größe dieſes Widerſtandes beſtimmen: dann muß man den Geſammtwiderſtand wieder auf einen aliquoten Theil vermindern und die entſprechende Ablenkung eines für ſtärkere Ströme anwendbaren Rheometers beobachten u. ſ. w. — Man kommt alſo hier nur auf vielen Umwegen zum Ziel, und da bei jeder Operation Beobachtungsfehler unvermeidlich ſind und ſich dieſelben im Endreſultat ſummiren, ſo hat alſo die Complicirtheit des Verfahrens auch einen nachtheiligen Einfluß auf die Genauigkeit des Reſultates.

Die oben mitgetheilte Vergleichung der Pouillet'ſchen Stromeinheit mit chemiſchem Effect giebt uns freilich ein Mittel an die Hand, weit leichter die Angaben eines Rheometers in dieſe Stromeinheit zu verwandeln; man hat nur gleichzeitig den Strom durch das Rheometer und einen Waſſerzerſetzungsapparat gehen zu laſſen, um zu ermitteln, wie viel Knallgas in einer Minute entwickelt wird, während das Rheometer eine beſtimmte Gradzahl angiebt. Da jedes Kubikcentimeter Knallgas 7,4 Pouillet'ſchen Einheiten entſpricht, ſo weiß man nun alſo auch, wie viel Pouillet'ſche Stromeinheiten der beobachteten Ablenkung des Rheometers entſpricht. — Hier hat man aber doch nur dem Wort nach die Pouillet'ſche Einheit in Anwendung gebracht. In der That hat man doch nur die Ablenkung des Rheometers mit dem chemiſchen Effect verglichen und es iſt kein Grund einzuſehen, warum man nicht bei dieſer Vergleichung ſtehen bleiben ſoll.

107 **Reduction der Weber'ſchen Stromeinheit auf chemiſches Maaß.** Die Definition von Weber's abſolutem Maaß der Stromſtärke iſt keineswegs eine ſo einfache zu nennen, daß man hoffen dürfte, den richtigen Begriff dieſer Einheit in weiteren Kreiſen geläufig zu machen. Von dieſem Uebelſtand könnte man aber noch abſehen, wenn nur die Beſtimmung der Stromſtärke nach dieſem abſoluten Maaße leicht auszuführen wäre.

Hat man an einer Weber'ſchen Tangentenbouſſole (die nicht weniger als 40 Centimeter Durchmeſſer haben darf) den Ablenkungswinkel abge-

leſen, den ein Strom hervorbringt, ſo erhält man den Strom ſtärker in abſolutem Maaße ausgedrückt durch die Formel

$$g = \frac{T.r.\,tang\,u}{2\pi};$$

nach dieſer Formel ergiebt ſich allerdings der Werth der Stromſtärke ſehr leicht, wenn man nur den richtigen Werth von T kennt, d. h. wenn man weiß, wie groß am Beobachtungsorte der horizontale Theil der Intenſität des Erdmagnetismus, in abſolutem Maaß ausgedrückt, iſt.

Die Beſtimmung von T (Lehrbuch der Phyſik 3. Aufl. 2. Bd.) hat freilich für den Phyſiker von Fach keine weiteren Schwierigkeiten, für manchen Techniker aber, welcher die Stromſtärke ſeiner Kette beſtimmen will, iſt ſie doch zu complicirt, ſie iſt wenigſtens weit ſchwieriger ausführbar als die Vergleichung der Angaben eines Rheometers mit der chemiſchen Wirkung des Stromes in der von Jakobi angewandten Weiſe. Es wäre freilich nicht gerade nöthig, den Werth von T durch Verſuche am Beobachtungsort zu ermitteln, man könnte ihn aus den magnetiſchen Karten von Gauß entnehmen, wenn man überzeugt ſeyn könnte, daß an dem Beobachtungsort die Wirkung der horizontalen magnetiſchen Erdkraft nicht durch das Eiſen modificirt wird, welches ſich im Locale befindet, und welches in der That bedeutende Veränderungen von T hervorbringen kann. So ergiebt ſich z. B. ſowohl aus den Gauß'ſchen Karten als auch aus directen Beobachtungen, die im Freien angeſtellt wurden, daß T für Marburg $= 1{,}88$ iſt, während Kaſſelmann den Werth von T in dem Locale, in welchem er die Verſuche zur Vergleichung der Stromſtärke verſchiedener galvaniſchen Ketten anſtellt, gleich 1,83 fand (über die galvaniſche Kohlenzinkkette von Kaſſelmann, Marburg 1844 pag. 75); es iſt alſo unumgänglich nöthig, in dem Locale ſelbſt, in welchem man die Verſuche über Stromſtärke anſtellt, auch den Werth von T zu ermitteln.

Weber's Stromeinheit zerſetzt in der Secunde 0,000009376 Grm. Waſſer; in der Minute alſo 0,00056256 Grm., oder was daſſelbe iſt, dieſe Stromeinheit liefert in der Minute 1,0477 Kubikcentimeter Knallgas.

Um die Stromſtärke nach dieſem abſoluten Maaße zu beſtimmen, bedarf man nothwendig einer Weber'ſchen Tangentenbouſſole, deren Ring nicht viel weniger als 40 Centimeter Durchmeſſer haben darf, während man Rheometer verſchiedener Art anwenden kann, wenn man als Einheit der Stromſtärke denjenigen Strom zu Grunde ſetzt, welche in einer Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas liefert. —

Sehen wir nun, wie man zu verfahren hat, um die Angaben der Rheometer auf dieſe Einheit zu beziehen.

Beſtimmung der Stromſtärke nach chemiſchem Maaß. Um die 108

magnetiſche Wirkung des Stromes im Rheometer auf chemiſchen Effect zu reduciren, hat man nur gleichzeitig den Strom durch einen Waſſerzerſetzungsapparat und das Rheometer gehen zu laſſen; am zweckmäßigſten wendet man ein Voltameter an, welches die beiden Gaſe als Knallgas gemiſcht giebt.

Ein Strom, der z. B. durch ein Mohr'ſches Torſionsgalvanometer und einen Waſſerzerſetzungsapparat ging, lieferte in einer Minute 40 Cubikcentimeter Knallgas, während die entſprechende Torſion des Galvanometers 490° betrug.

Da die Torſion dieſes Galvanometers ſtets der Stromſtärke proportional iſt, ſo wäre zur Bildung von 1 Kubikcentimeter Knallgas ein Strom nöthig, der eine Torſion von $^{490}/_{40} = 12{,}2\ .\ .^{0}$ entſpricht, oder jeder Grad Torſion entſpricht $^{40}/_{490} = 0{,}0816$ Kubikcentimetern Knallgas. Um alſo die an dieſem Galvanometer abgeleſene Gradzahl auf die Jakobi'ſche Einheit zurückzuführen, hatte man alſo dieſelbe nur mit 0,0816 zu multipliciren. Einer Torſion von v^{0} entſpricht alſo die Stromſtärke $0{,}0816\ v$.

Ganz ähnlich iſt zu verfahren, wenn man die Angaben der Tangentenbuſſole auf chemiſchen Effect ruduciren will. An einem ſolchen Inſtrumente wurde z. B. eine Ablenkung von 22° beobachtet, während in einer Minute 30,8 Kubikcentimeter Knallgas entwickelt wurden. Da die Temperatur 15° C. war und der Barometerſtand 740 Millimeter betrug, ſo iſt dieſe Gasmenge auf 0° und einen Druck von 760^{mm} reducirt gleich 28,18 Kubikcentimeter.

Da bei dieſem Inſtrument die Stromſtärken der Tangente des Ablenkungswinkels proportional ſind, ſo iſt die Tangente von 22° alſo 0,404 der Gasmenge 28,18 entſprechend, der Tangente 1 entſpricht alſo die Gasmenge $\frac{28{,}18}{0{,}404} = 69{,}7$, man hat alſo die Tangente irgend eines an dieſem Inſtrumente abgeleſenen Ablenkungswinkels mit 69,7 zu multipliciren, um zu erfahren, wie viel Kubikcentimeter Knallgas der Strom per Minute geliefert haben würde, wenn er in dieſer Stärke durch einen Waſſerzerſetzungsapparat gegangen wäre; dem Ablenkungswinkel v entſpricht alſo nach unſerer chemiſchen Stromeinheit die Stomſtärke 69, 7 *lang. v.*

In ähnlicher Weiſe iſt es auch leicht, die Angabe einer Sinusbuſſole auf dieſe Einheit zu reduciren.

Der Factor, mit welchem man die Angaben eines Rheometers multipliciren muß, um die Stromſtärke in chemiſchem Maaße ausgedrückt zu erhalten, muß natürlich mit großer Genauigkeit ermittelt werden, es reicht dazu alſo ein einziger Verſuch nicht aus; man muß eine Reihe von Verſuchen mit verſchiedenen Stromſtärken machen, aus jedem den Factor be-

rechnen, und aus den so erhaltenen Werthen das Mittel nehmen. Die verschiedene Stromstärke wird am leichtesten erhalten, wenn man anfangs mit einer solchen Kette operirt, welche eine starke Wasserzersetzung liefert, und alsdann den Strom durch Wegnahme einzelner Elemente schwächt.

Eine solche Versuchsreihe, welche Mohr mit seinem Torsionsgalvanometer anstellte, gab folgende Resultate.

Anzahl der Zellen.	Torsion des Galvanometers.	Entwickeltes Knallgas in einer Minute.	Gasmenge, welche einem Torsionsgrad entspricht.
8	530°	44,5KC	0,08399
8	387	46	0,07836
8	429	37	0,08624
7	520	41	0,07884
7	490	40	0,08163
7	409	33,5	0,08278
6	423	35	0,08278
6	357	30	0,08403
5	338	29	0,08508
5	337,5	28,5	0,08444
5	315	26	0,08254
4	277	23,5	0,08483
4	263,5	23	0,08728
3	181	16	0,08838
3	181	15,75	0,08701
3	174	15	0,08621
2	85	7	0,08235
			Mittel 0,08386

Da die magnetische und die chemische Wirkung stets proportional ist, so müßte, wenn keine Beobachtungsfehler vorkämen, der Quotient aus der Gradzahl in die Gasmenge immer denselben Werth haben; das ist jedoch nur annähernd der Fall. Das Mittel aus allen Quotienten aber ist 0,08386; man erhält also die Stromstärke in chemischem Maaß ausgedrückt, wenn man die am Instrument abgelesene Gradzahl v mit 0,08386 multiplicirt, oder es ist

$$S = 0{,}08386\ v.$$

Betrachten wir noch eine ähnliche Versuchsreihe, welche angestellt wurde, um die Beziehungen zweier Tangentenbussolen zur chemischen Einheit zu ermitteln. Der Strom wurde gleichzeitig durch den Wasserzersetzungsapparat und zwei Tangentenbussolen geleitet, von denen die größere einen Ring von 38, die kleinere einen solchen von 30 Centimeter Durchmesser hatte. Damit die

Nadeln beider Buſſolen keinen Einfluß auf einander ausüben konnten, waren ſie in einer Entfernung von 25 Fuß von einander aufgeſtellt. Folgende ſind die Beobachtungsreſultate.

Zahl der Erregungszellen	Ablenkung		Entwickelte Gasmengen in 3′
	gr. Buſſ.	kl. Buſſ.	
12	28,5	31	125
8	24,8	27,35	106
6	22	23,5	92,5
4	18,75	20,4	78
3	13,75	16,07	56
2	5,9	6,5	23,7

Während des Verſuchs, d. h. während der drei Minuten, innerhalb welcher das Gas aufgefangen wurde, ſchwankte die Nadel nur ſehr wenig, ſie ging regelmäßig zurück, doch war der Rückgang in 3′ höchſtens $\frac{1}{2}^{0}$. Die Gradzahlen der Tabelle ſind ſtets das Mittel aus den zu Anfang und zu Ende der 3′ abgeleſenen Winkeln.

Der Quotient, welchen man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels in die entſprechende Gasmenge einer Minute dividirt, ſollte eigentlich eine conſtante Größe ſeyn, welche angiebt, wie viel Gas per Minute ein Strom entwickelt, der an der Tangentenbuſſole eine Ablenkung von 45^{0} hervorbringt (weil *tang.* $45^{0} = 1$). Aus den verſchiedenen Verſuchen ergiebt ſich folgender Werth dieſes Quotienten.

Zahl der Beobachtung.	Quotient für die	
	große Buſſole.	kleine Buſſole.
1	76,7	69,3
2	76,5	71,0
3	76,2	70,9
4	76,6	69,8
5	76,3	69,3
6	76,6	69,3
Mittel	76,5	70

Während dieſer Verſuche war die Temperatur im Zimmer 15^{0} C. und der Barometerſtand betrug 744^{mm}. Das Gas wurde in einer graduirten Röhre aufgefangen und der Waſſerſpiegel in der Röhre ſtand ungefähr 10 Centimeter höher als außen, was einer Druckhöhe von 7^{mm} Queckſilber

gleichzuſetzen iſt. Das Gas ſtand alſo unter einem Drucke von 733^{mm}. Auf 0° Temperatur und einen Barometerſtand von 760^{mm} reducirt, ſind demnach die aus den Beobachtungen bei 15° und 733^{mm} abgeleiteten Gasmengen 76,5 K.-C. und 70 K.-C. gleich 69,94 und 64,01 Kubikcentimetern oder in runden Zahlen 70 und 64.

Ein Strom alſo, welcher an der großen Buſſole eine Ablenkung von 45° hervorbringt, wird in der Minute 70, ein ſolcher, der an der kleinen Buſſole dieſelbe Ablenkung hervorbringt, wird in der Minute 64 Kubikcentimeter Knallgas von 0° Temperatur und einer Spannkraft von 760^{mm} liefern.

Nach chemiſchem Maaße iſt alſo die Stromſtärke eines Stromes, welcher eine Ablenkung von v^0 an der großen Tangentenbuſſole hervorbringt

$$S = 70\ tang.\ v.$$

Ein Strom, welcher eine Ablenkung von u Graden an der kleinen Tangentenbuſſole hervorbringt, hat nach chemiſchem Maaß eine Stromſtärke

$$S' = 64\ tang.\ u.$$

Der conſtante Factor zur Reduction der Angaben eines Torſionsgalvanometers, einer Weber'ſchen Tangentenbuſſole oder einer Sinusbuſſole kann man alſo mittelſt einer leicht ausführbaren Verſuchsreihe erhalten. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß dieſer Reductionsfactor immer nur für ein ſpecielles Exemplar eines Rheometers gelten kann, und daß er ſelbſt für dieſes ſpecielle Inſtrument nur ſo lange gilt, als man die Verſuche an demſelben Orte anſtellt. Brächte man z. B. die Buſſole von Freiburg nach Marburg, ſo würde der Reductionsfactor einen andern Werth erhalten, weil die horizontale Intenſität des Erdmagnetismus in Marburg geringer iſt, weil alſo ſchon ein ſchwächerer Strom, der weniger Knallgas liefert, eine Ablenkung von 45° bewirkt.

Die oben mitgetheilten Beobachtungsreihen liefern uns nun auch einen Beleg, daß die Weber'ſche Tangentenbuſſole nur dann zur Beſtimmung der Stromſtärke nach abſolutem Maaß brauchbar iſt, wenn ihr Durchmeſſer nicht bedeutend kleiner iſt als 40 Centimeter (bei einer Nadellänge von 3 Centimeter). Nach der Formel 4, Seite 243, iſt bei gleichem Ablenkungswinkel der Tangentenbuſſole die Stromſtärke dem Radius des Ringes proportional. Die Ströme, welche in den beiden bisher beſprochenen Buſſolen eine Ablenkung von 45° hervorbringen, ſollten ſich verhalten wie 38 zu 30. Der Quotient dieſer Durchmeſſer iſt 1,2666, während der Quotient der entſprechenden Stromſtärke iſt $\frac{70}{64} = 1{,}0937$.

Hat man den Reductionsfactor einer größeren Tangentenbuſſole durch

genaue Verſuche ermittelt, ſo kann man aus demſelben die horizontale Intenſität des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte berechnen. Der Strom, welcher an unſerer größeren Buſſole (380^{mm} Durchmeſſer) eine Ablenkung von 45° hervorbringt, hat nach chemiſchem Maaß die Stromſtärke

$$70$$

nach abſolutem Maaß iſt die Stromſtärke

$$g = \frac{T \,.\, 190}{2 \,.\, 3{,}14}.$$

Das chemiſche Maaß verhält ſich aber zum abſoluten Maaß wie 1 : 1,0477; nach abſolutem Maaß hat alſo jener Strom den Zahlenwerth $\frac{70}{1{,}0477} = 66{,}813$. Wir haben alſo

$$66{,}813 = \frac{T \,.\, 190}{2 \,.\, 3{,}14}$$

und daraus

$$T = 22{,}083.$$

Nach den Karten iſt der Werth von T für Freiburg 22,1, was mit dem oben berechneten ſehr gut übereinſtimmt.

Um die Größe des chemiſchen Effectes zu ermitteln, welchen ein Strom hervorbringt, könnte man auch, ſtatt die Menge des gebildeten Knallgaſes dem Volumen nach zu meſſen, die Menge des zerſetzten Waſſers dem Gewicht nach beſtimmen, wie es Kaſſelmann (Ueber die galvaniſche Kohlenzinkkette, S. 68) gethan hat, und danach das Volumen der gebildeten Gasmenge berechnen. Dieſe Beobachtungsweiſe iſt einer großen Genauigkeit fähig und ſie iſt deshalb jedem zu empfehlen, welchem eine genaue Waage zu Gebote ſteht. Die oben mitgetheilten Verſuche liefern jedoch den Beweis, daß auch die directe Meſſung der Gasvolumina ſehr genaue Reſultate giebt.

109 **Widerſtand des Elementes.** Die Stromſtärke einer galvaniſchen Combination kann mittelſt eines Rheometers direct gemeſſen und nach den ſo eben mitgetheilten Grundſätzen auf eine beſtimmte Einheit, wozu, der allgemeinen Verbreitbarkeit wegen, die chemiſche Einheit am zweckmäßigſten iſt, reducirt werden. Die Kenntniß der Stromſtärke aber, welche der Apparat in einem beſonderen Fall bei einer beſtimmten Größe des außerweſentlichen Widerſtandes liefert, reicht nicht hin, um die Wirkung des Apparates in allen Fällen beſtimmen zu können; zu dieſem Zweck muß der weſentliche Widerſtand der Kette und die elektromotoriſche Kraft derſelben bekannt ſein. Gehen wir zunächſt zur Beſtimmung des weſentlichen Widerſtandes über.

Die Widerſtände müſſen ſo gut wie die Stromſtärke auf eine beſtimmte Einheit bezogen werden, wenn die Reſultate verſchiedener Experi-

mentatoren vergleichbar ſein ſollen. Auch hier ſind verſchiedene Einheiten in Vorſchlag und Anwendung gebracht worden. Mehrere Phyſiker nehmen als Einheit des Widerſtandes den Widerſtand eines Kupferdrahts an, welcher 1 Meter lang iſt und einen Durchmeſſer von 1^{mm} hat. Dieſe Einheit werde ich in der Folge ſtets zu Grunde legen.

Um den Widerſtand der Kette zu ermitteln, muß man bekanntlich die Stärke des Stromes meſſen, wenn der Reihe nach verſchiedene Widerſtände in den Schließungsbogen eingeſchaltet ſind.

Man muß alſo zunächſt den Widerſtand der eingeſchalteten Drahtſtücke auf die angenommene Einheit zurückführen. Dies wäre nun am einfachſten, wenn man zur Einſchaltung nur Kupferdraht von 1^{mm} Durchmeſſer und verſchiedener Länge anwendete; für ein 10, 15, 20 u. ſ. w. Meter langes Stück dieſes Normaldrahtes wäre dann der Widerſtand gleich 10, 15, 20 u. ſ. w. Da es aber ſchwer hält, Draht zu bekommen, welcher genau dieſen Durchmeſſer hat, ſo wendet man Drähte an, welche nahezu dieſen Durchmeſſer haben, mißt denſelben genau und berechnet dann, wie lang ein Kupferdraht ſeyn müßte, welcher bei 1^{mm} Durchmeſſer denſelben Widerſtand äußert. Bei der Berechnung des weſentlichen Widerſtandes der Kette bringt man dann dieſe reducirte Drahtlänge in Anwendung.

Der Querſchnitt unſeres Normaldrahts hat einen Querſchnitt von 0,785$\square^{mm}$. Da nun bei gleichem Widerſtand die Länge der Drähte im Verhältniß ihrer Querſchnitte wachſen muß, ſo iſt klar, daß ein l Meter langer Kupferdraht, deſſen Radius r und deſſen Querſchnitt alſo πr^2 iſt, denſelben Widerſtand leiſtet wie ein Normaldraht von der Länge

$$L = \frac{l\ 0{,}785}{\pi r^2}$$

hier iſt alſo L die reducirte Drahtlänge. Ein Draht z. B., welcher einen Durchmeſſer von 0,74^{mm}, alſo einen Querſchnitt von 0,43 Quadratmillimetern und eine Länge von 6 Metern hat, wird alſo denſelben Widerſtand leiſten, wie ein $\frac{6\ .\ 0{,}785}{0{,}43} = 10{,}95$ Meter langer Kupferdraht von 1^{mm} Durchmeſſer; 10,95 iſt alſo die reducirte Länge des zum Verſuch angewandten Drahtes.

Von dieſem Einſchaltungsdraht von Kupfer hält man ſich mehrere Stücke von verſchiedener Länge, etwa 5, 10, 20 u. ſ. w. Meter lang für dergleichen Verſuche ein für alle Mal bereit. Statt längerer Drahtſtücke von Kupfer wendet man zweckmäßiger kürzere Drahtſtücke von ſchlechter leitenden Metallen an, wie Platin, Eiſen oder Neuſilber; ihren Widerſtand auf Normaldraht reducirt, muß man aber alsdann durch den Verſuch ermitteln. Drähte bis zu ungefähr 10 Meter

Länge kann man bequem in die Schraubengänge aufwinden, welche in einen Holzcylinder von 2 bis 3 Zoll Durchmeſſer und entſprechender Länge eingeſchnitten ſind. Längere Drähte wendet man mit Seide überſponnen und auf Holzrollen aufgewickelt an. Auf dieſe Holzcylinder oder Holzrollen kann man dann gleich die auf Normaldraht reducirte Länge der Drahtſtücke aufſchreiben, ſo daß man in der Folge keine Reductionsrechnungen für die eingeſchalteten Drähte mehr nöthig hat.

Um den Draht bequem in den Schließungsbogen einzuſchalten, kann man Drahtklemmen anwenden, wie ſie in Fig. 92 abgebildet ſind.

Fig. 92.

Wie dieſe Schraubenklemmen anzuwenden ſind, bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung.

Um auch dicke Drähte in die Löcher der Schraubklemmen befeſtigen zu können, müſſen aber dieſe Löcher wenigſtens 1 Linie im Durchmeſſer haben. Dadurch iſt aber das Feſtklemmen dünner Drähte etwas erſchwert und bei öfterem Gebrauche derſelben läuft man Gefahr, die Enden dieſer Drähte abzuquetſchen. Da nun aber die Einſchaltungsdrähte nicht gar zu dick ſeyn dürfen und immer dieſelbe Länge behalten ſollen, ſo thut man wohl, die Enden der Drähte in etwa 2,5 Millimeter dicke Hülſen von Kupfer oder Meſſing einzulöthen (Fig. 93), die man dann bequem in die Löcher der Schraubklemmen feſtſchrauben kann.

Fig. 93.

Nörrenberg wendet zur metalliſchen Verbindung von Drahtſtücken Drahtfedern an, wie ſie in Fig. 94 und Fig. 95 dargeſtellt ſind. Dieſe

Fig. 94.

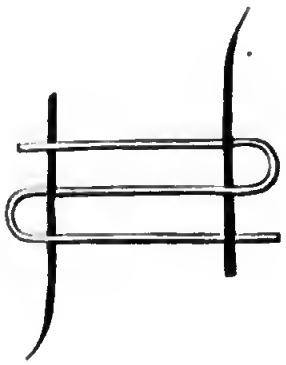
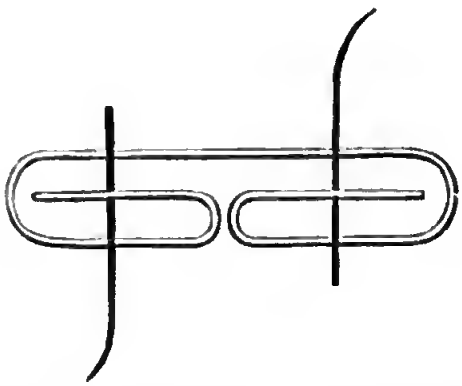


Fig. 95.



Drahtfedern ſind namentlich deshalb zu empfehlen, weil die Verbindung

und die Trennung mittelſt derſelben ſehr leicht und ſchnell vollzogen werden kann.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß man zur Einſchaltung verſchieden langer Drahtſtücke mit Vortheil auch einen Rheoſtaten anwenden kann.

Bezeichnen wir mit E die elektromotoriſche Kraft der galvaniſchen Kette, mit R den weſentlichen Leitungswiderſtand, ſo iſt nach dem Ohmiſchen Geſetz die Stromſtärke

$$s = \frac{E}{R} \quad \ldots\ldots 1)$$

bei vollkommen metalliſcher Schließung, d. h. bei ſolcher, deren Leitungswiderſtand gegen den des Elements vernachläſſigt werden kann. Schaltet man die reducirte Drahtlänge l ein, ſo wird nur die Stromſtärke

$$s' = \frac{E}{R + l} \quad \ldots\ldots 2).$$

Hier iſt s, s' durch die Beobachtung gegeben, außerdem iſt noch l bekannt, man kann alſo aus dieſen beiden Gleichungen E eliminiren und den Werth von R berechnen. Die folgenden Tabellen geben eine Reihe von Beobachtungen, welche zur Ermittelung des Leitungswiderſtandes verſchiedener Ketten angeſtellt wurden:

Bunſen'ſche Kette von Deleul.

	Einſchaltung.	Ablenkung	Tangente der Ablenkung.	Stromſtärke.	R	E
	Meter					
1	0	33° 30′	0,7133	49,931	16,8	883
	68,7	8°	0,1405	9,835		
2	0	24° 52′	0,463	32,41	27,16	880
	7,2	20° 7′	0,366	25,62		
3	0	24° 52′	0,463	32,41	26,10	847
	50,7	9°	0,158	11,06		
					Mittel	855
4	0	57	1,54	107,8	7,44	802
	7,2	38	0,781	54,67		
5	0	57	1,54	107,8	7,72	832
	29,2	17,8	0,321	22,47		
6	0	57	1,54	107,8	7,74	834
	49	11,8	0,21	14,7		
					Mittel	823
			Mittel aus allen 6 Beobachtungen			839

Bunſen'ſche Kette von Stöhrer.

	Einſchaltung	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromſtärke.	*R*	*E*
	Meter					
1	0	61	1,804	121,24	6,2	783
	68,7	8,5	0,149	10,43		
2	0	31,5	0,613	42,91	18	772
	68,7	7,25	0,127	8,86		
					Mittel	777

Grove'ſche Kette.

	Einſchaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung	Stromſtärke.	*R*	*E*
	Meter					
1	0	30,8	0,596	41,7	19,4	809
	7,2	23,5	0,435	30,4		
2	0	30,8	0,596	41,7	20,4	851
	29,2	13,7	0,245	17,1		
3	0	30,8	0,596	41,7	19,8	828
	49	9,7	0,171	12,0		
					Mittel	829

Daniell'ſche Kette.

	Einſchaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromſtärke.	*R*	*E*
	Meter					
1	0	32	0,625	43,75	11,1	486
	68,7	5,45	0,101	7,07		
2	0	16,8	0,302	21,14	21,5	454
	7,2	12,75	0,266	15,82		
					Mittel	470

Smee'ſches Element.

	Einſchaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromſtärke.	R	E
	Meter					
1	0	26°	0,488	34,16	5,3	181
	7,2	12,25	0,217	15,19		
2	0	26	0,488	34,16	7	239
	29,2	5,25	0,092	15,19		
					Mittel	210

Wollaſtone'ſches Element.

	Einſchaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromſtärke.	R	E
	Meter					
1	0	23,6	0,437	30,58	6,3	193
	7,2	11,6	0,205	14,17		
2	0	23,6	0,437	30,58	7,3	223
	29,2	5	0,087	6,12		
					Mittel	208

In der letzten Verticalreihe ſtehen die berechneten Werthe der elektromotoriſchen Kraft, welche ſpäter beſprochen werden ſoll. Zu den einzelnen Verſuchen, deren Ergebniſſe in der Tabelle aufgenommen ſind, müſſen noch einige Erläuterungen beigefügt werden.

Die unter der Aufſchrift Einſchaltung angegebenen Zahlen geben gleich die reducirte Länge der eingeſchalteten Drahtſtücke an.

Die Schwefelſäure, welche bei dem erſten Verſuch mit der von Deleuil verfertigten Zinkkohlenkette angewandt wurde, war ungefähr mit der 10fachen Waſſermenge verdünnt; bei den Verſuchen 2 und 3 war ſchon gebrauchte und noch weit mehr verdünnte Schwefelſäure in Anwendung gebracht worden. Die Salpeterſäure hatte ein ſpecifiſches Gewicht 1,18.

Bei den drei letzten Verſuchen war die Schwefelſäure mit der 5fachen Waſſermenge verdünnt, die Salpeterſäure hatte ein ſpecifiſches Gewicht von 1,36.

Bei den Verſuchen mit der von Stöhrer conſtruirten Zinkkohlenkette wurde die gleiche Säure gebraucht, wie bei dem erſten Verſuche mit der Deleuil'ſchen; der bedeutende Unterſchied im Widerſtande des Elements in beiden Verſuchen liegt alſo hier nicht in der Natur der Säure, ſondern

er iſt durch die poröſen Zellen veranlaßt. Bei dem zweiten Verſuch mit der Stöhrer'ſchen Kette wurden nämlich nicht ſeine eigenen, ausgezeichnet guten, aber leider ſehr zerbrechlichen Zellen angewandt, ſondern irdene Zellen, welche ein hieſiger Hafner gemacht hatte. Durch die Anwendung dieſer rothen irdenen Zellen wurde der Widerſtand des Elements auf das dreifache geſteigert, woraus man erſieht, welchen bedeutenderen Einfluß die Thonzellen auf den Leitungswiderſtand des Elementes und alſo auch auf die Stromſtärke haben.

Bei der Daniell'ſchen Kette wurden ebenfalls die rothen Thonzellen in Anwendung gebracht, bei dem erſten Verſuch ſtand das Zink in einer Miſchung von 1 Theil Schwefelſäure auf 10 Theile Waſſer; bei dem letzten Verſuche wurde ſchon gebrauchte und noch mehr verdünnte Säure angewandt.

Damit die Tangentenbuſſole einen ſicheren Stand hat, war dieſelbe auf ein dickes eichenes Brett geſtellt worden, welches in einer Fenſternieſche auf beiden Seiten eingemauert iſt, ſo daß das Gehen in der Stube keine Erſchütterungen der Nadel hervorbringt. Von der Tangentenbuſſole gehen dicke kupferne Leitungsdrähte an der Wand her, an welcher ſie ein für allemal befeſtigt ſind, über eine Thüre zu dem Tiſch, auf welchem die Kette ſteht.

Der Widerſtand dieſer ganzen Drahtleitung ſammt der Tangentenbuſſole iſt gleich 1,75; d. h. er iſt gleich dem Widerſtand eines 1^{mm} dicken und 1,75 Meter langen Kupferdrahtes. Dieſer Widerſtand iſt bei den in obiger Tabelle mitgetheilten Werthen von R dem weſentlichen Widerſtand des Elementes noch beigerechnet, die wahren Werthe von R ſind alſo ſtets um 1,75 kleiner; wir erhalten alſo

für die Deleuil'ſche Kette

1) $R = 15{,}05$ (10 Waſſer, 1 Schwefelſäure)
2) $R = 24{,}88$ (gebrauchte und noch mehr verdünnte Säure)
3) $R = 5{,}85$ (5 Waſſer, 1 Schwefelſäure);

für die Stöhrer'ſche Kette

1) $R = 4{,}45$ (weiße Zellen) } 10 Waſſer
2) $R = 16{,}25$ (rothe Zellen) } + 1 Schwefelſäure;

für die Daniell'ſche Kette

1) $R = 9{,}35$ (10 Waſſer, 1 Schwefelſäure)
2) $R = 19{,}75$ (gebrauchte und noch mehr verdünnte Schwefelſäure.

Der Widerſtand des Elementes hängt von der Natur der Flüſſigkeiten und von der Größe der Plattenpaare ab; um alſo die Leitungsfähigkeit verſchiedener galoaniſcher Combinationen gehörig vergleichen zu können, muß man den Widerſtand auf gleiche Größe der Plattenpaare reduciren,

man muß alſo die Oberfläche der Plattenpaare der Elemente kennen, mit welchen man den Verſuch angeſtellt hat.

Die oben beſprochenen galvaniſchen Elemente haben folgende Dimenſionen.

	Durchmeſſer	Höhe	Flächeninhalt
Deleuil'ſches Element.			
Zink	3,7 cent.	10 cent.	1,16 □dm
Kohle	5,5	9,5	1,61
			Mittel 1,38.
Stöhrer'ſches Element.			
Zink	5	12	1,88
Kohle	7	15	3,40
			Mittel 2,64.
Daniell'ſches Element.			
Zink	15	21	9,76
Kupfer	10	22	6,81
			Mittel 8,34.

Als Höhe der Cylinder iſt hier die Höhe des in der Flüſſigkeit ſtehenden Theiles derſelben angegeben. — Bei den Stöhrer'ſchen Kohlencylindern iſt auch der Boden bis auf ein Loch in der Mitte geſchloſſen, die innere Oberfläche des Bodenſtücks mußte demnach der Oberfläche des Kohlencylinders beigezählt werden.

Um die Oberflächen verſchiedener Elemente bequemer vergleichen zu können, iſt das Mittel aus dem poſitiven und negativen Cylinder ermittelt worden, wir wollen es die mittlere Oberfläche des Elementes nennen. Auf 1 Quadratdecimeter mittlerer Oberfläche reducirt, ergeben ſich folgende Widerſtände.

a) Deleuil'ſches Element 21
b) Stöhrer'ſches Element 12
c) Stöhrer'ſches Element 43
d) Daniell'ſches Element 78
e) Wollaſton'ſches Element. . . . . 13,6.

Bei gleicher Oberfläche würden ſich alſo die Widerſtände der Elemente wie die hier mitgetheilten Zahlen verhalten.

Der Werth 21 des Widerſtandes des Deleuil'ſchen Elementes für 1 □dm mittlere Oberflächen bezieht ſich auf den Fall, daß der Zinkcylinder in einer Miſchung von 1 Theil Schwefelſäure auf 10 Theile Waſſer ſteht.

Die für das Stöhrer'ſche Element angegebenen Zahlen beziehen ſich auf dieſelbe Flüſſigkeit, und zwar die unter b) angegebene Zahl für Leip-

ziger, die unter c) angegebene Zahl für rothe Thonzellen. Der Widerſtand der Daniell'ſchen Kette gilt für denſelben Verdünnungsgrad der Schwefelſäure und für rothe Zellen.

Wenn bei gleicher Oberfläche und gleicher Flüſſigkeit der Widerſtand des Deleuil'ſchen Elementes (a) ſich zu dem des Stöhrer'ſchen (b) verhält wie 21 : 12, ſo liegt dieſe Verſchiedenheit lediglich in der Ungleichheit der Thonzellen.

Durch Anwendung rother Thonzellen (c) ſtatt der weißen (b), wird der Leitungswiderſtand des Elements im Verhältniß von 12 : 43 vermehrt, er wird 3,6mal größer. Es läßt ſich alſo erwarten, daß durch Anwendung von Leipziger Thonzellen der Widerſtand der Zinkkupferkette 3,6mal geringer wird als bei Anwendung der irdenen Zellen, daß er alſo für 1 Quadratdecimeter der mittleren Oberfläche $\frac{78}{3,6} = 21,6$.

Das Wollaſton'ſche Element war in eine Flüſſigkeit getaucht, welche 1 Theil Schwefelſäure auf 20 Theilen Waſſer enthielt. Als 1 Quadratdecimeter Zink eingetaucht war, ergab ſich der Widerſtand (Tabelle S. 257), im Mittel gleich 6,8. Da aber jede Zinkſeite wirkſam iſt, ſo iſt alſo 6,8 der Widerſtand für eine wirkſame Zinkoberfläche von 2 Quadratdecimetern; für 1 Quadratdecimeter iſt alſo der Widerſtand 13,6; für ſtärkere Säure würde natürlich der Widerſtand bedeutend abnehmen.

110 **Elektromotoriſche Kraft.** Mittelſt der beiden Gleichungen 1 und 2 auf Seite 255 kann man ſowohl den Widerſtand R des Elementes als auch die elektromotoriſche Kraft E berechnen. Für die oben bereits mitgetheilten Meſſungen ergeben ſich die Werthe der elektromotoriſchen Kraft der Zinkkohlenkette von Stöhrer und Deleuil, und für die Zinkkupferkette, wie ſie in der Tabelle auf Seite 256 unter E bereits mitgetheilt worden ſind, nämlich:

für die Zinkkohlenkette von Deleuil

883
880
847

Mittel 855

für die Zinkkohlenkette von Stöhrer

783
772

Mittel 777

für die Zinkkupferkette

486
454

Mittel 470.

Die Werthe für die elektromotoriſche Kraft einer und derſelben Kette ergeben ſich ſehr nahe gleich, wie auch die Natur der Flüſſigkeit und mit ihr der Leitungswiderſtand ſich ändern mag. Ja die elektromotoriſche Kraft der Stöhrer'ſchen Zinkkohlenkette ergiebt ſich nur um 0,1 verſchieden von der von Deleuil conſtruirten. Dieſer Umſtand iſt bereits oben, Seite 229, näher beſprochen worden.

Es iſt jetzt noch zu erläutern, was man unter dieſen Zahlen zu verſtehen hat; die elektromotoriſche Kraft iſt diejenige Kraft, welche den Strom in Bewegung ſetzt. Dieſe Kraft können wir natürlich, wie auch die Stromſtärke, nur durch ihre Wirkungen meſſen.

Die elektromotoriſche Kraft der Volta'ſchen Säule iſt der elektriſchen Spannung der Pole bei geöffnetem Schließungsbogen proportional, man könnte alſo dieſe Spannung als Maaß der elektromotoriſchen Kraft in Anwendung bringen, wenn die Meſſung dieſer elektriſchen Spannung an den Polen nicht ſo ſehr gering wäre, daß ſie bei Säulen von wenigen Plattenpaaren oder Elementen nicht mehr mit einiger Genauigkeit ermittelt werden kann. — Das Ohm'ſche Geſetz lehrt uns aber, daß auch die Stromſtärke der geſchloſſenen Kette der elektromotoriſchen Kraft proportional iſt, und da man die Stromſtärke mit großer Genauigkeit meſſen und auf beſtimmte Einheiten reduciren kann, ſo iſt es zweckmäßiger, die Stromſtärke zum Maaß der elektromotoriſchen Kraft zu machen. Wir haben

$$S = \frac{E}{W},$$

wo W den Geſammtwiderſtand bezeichnet, welchen der Strom zu überwinden hat. Für den Fall daß $W = 1$ iſt, haben wir

$$S = E.$$

E iſt alſo die Stromſtärke, welche die Kette geben würde, wenn der Leitungswiderſtand $= 1$ wäre. Bei Zugrundelegung unſerer Einheiten für Stromſtärke und Widerſtand bezeichnen alſo die Werthe für die elektromotoriſche Kraft, alſo die Zahlenwerthe für E, die Quantität Knallgas, welche der Strom einer Kette geben würde, wenn der Geſammtwiderſtand gleich würde dem Widerſtand eines 1 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes; wenn wir alſo gefunden haben, daß die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Zinkkupferkette 470 iſt, ſo heißt das, daß der Strom der Daniell'ſchen Kette in jeder Minute 470 Cubikcentimeter Knallgas liefern würde, wenn die Summe aller Widerſtände der bezeichneten Einheit des Widerſtandes gleich wäre.

Ich halte es für einen großen Vorzug der ſchon oben empfohlenen chemiſchen Einheit der Stromſtärke (= demjenigen Strom, welcher in der

Minute ein Cubikcentimeter Knallgas liefert), daß bei Zugrundelegung derſelben die Werthe der elektromotoriſchen Kraft nicht bloß Verhältnißzahlen ſind, ſondern daß jede für ſich allein eine ganz beſtimmte und eben ſo leicht verſtändliche Bedeutung hat.

Obgleich Jakobi meines Wiſſens zuerſt verſucht hat, die Angaben der magnetiſchen Rheometer auf chemiſchen Effect zu reduciren, ſo hat er dieſe chemiſche Einheit der Stromſtärke doch nicht weiter benutzt, namentlich hat er ſie bei Berechnung der elektromotoriſchen Kraft nicht in Anwendung gebracht.

111 **Die elektromotoriſche Kraft iſt der Spannung der offenen Kette proportional.** Es wurde bereits im vorigen Paragraphen die Behauptung ausgeſprochen, daß man die elektriſche Spannung an den Polen der offenen Kette als ein Maaß für die elektromotoriſche Kraft betrachten könne. Die Richtigkeit dieſer Behauptung iſt gewiß von den meiſten Phyſikern ſtillſchweigend angenommen worden, obgleich eine directe experimentelle Beſtätigung wegen der Unvollkommenheit der Meßwerkzeuge nicht verſucht werden konnte. — Kohlrauſch hat nun dieſe Lücke ausgefüllt. Er hat, wie bereits auf Seite 29 bemerkt wurde, das äußerſt empfindliche Dellmann'ſche Elektrometer in ein Meßinſtrument von großer Genauigkeit umgeſchaffen. Durch die Combination dieſes Inſtrumentes mit dem Condenſator (P. A. LXXV. 88.) gelang es ihm die elektroſkopiſche Spannung an den Polen einer geöffneten einfachen Kette mit ſolcher Schärfe zu beſtimmen, daß über die Richtigkeit des eben ausgeſprochenen Satzes kein Zweifel mehr ſtattfinden kann.

Durch dieſe Unterſuchung hat Kohlrauſch zugleich den Beweis geliefert, daß das Dellmann'ſche Elektroſkop, wie es aus ſeinen Händen hervorging, zu den feinſten elektriſchen Unterſuchungen geeignet iſt. Was die nähere Beſchreibung des Inſtrumentes und ſeines Gebrauchs betrifft, verweiſen wir den Leſer auf die trefflichen, bereits citirten Abhandlungen. Die Vergleichung der elektromotoriſchen Kraft mit der Spannung an den Polen der offenen Kette findet ſich in einem dritten Aufſatze im LXXV. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 220. Um die Reſultate dieſer Unterſuchung verſtändlich machen zu können, müſſen wir erſt über die Art und Weiſe, wie aus den am Inſtrument gemachten Meſſungen Zahlenwerthe für die elektroſkopiſche Spannung abgeleitet werden können, einiges nachholen, was oben im Paragraphen verſäumt wurde.

Kohlrauſch's Elektrometer kann auf zweierlei Weiſe als Meßinſtrument gebraucht werden, nämlich:

1) Wenn man den oberen Theilkreis, den wir Torſionskreis nennen wollen, auf 90° ſtellt, ſo wird auch die bewegliche Nadel mit dem feſten Metallſtreifen einen Winkel von 90° bilden. Nadel und Streif werden

nun in Berührung gebracht, ihnen die zu meſſende Elektricität mitgetheilt, und dann die Verbindung zwiſchen Nadel und Streifen wieder aufgehoben. Dreht man nun den Torſionskreis auf 0 zurück, ſo wird die Nadel einen um ſo größeren Winkel mit dem Streifen bilden, je ſtärker die elektriſche Ladung iſt.

Die elektriſche Ladung, welche einen Ausſchlag von 10^0 hervorbringt, mit 1 bezeichnend, kann man die Stärke der elektriſchen Ladung beſtimmen, welche jedem einzelnen Ausſchlagswinkel zukommt. Was die Details dieſer Berechnung betrifft, ſo verweiſe ich auf Kohlrauſch's Abhandlung im LXXII. Bande von Poggendorff's Annalen. Auf Seite 385 theilt er eine Tabelle mit, welche, natürlich nur für ſein Inſtrument geltend, für jeden Ausſchlagswinkel die entſprechende elektriſche Spannung angiebt. Der Verſtändlichkeit halber wollen wir einen Auszug aus dieſer Tabelle mittheilen:

Ausſchlagswinkel.	Stärke der elektriſchen Spannung.
10	1
20	1,94
30	3,06
40	4,39
50	6,10
60	8,30
70	11,40
80	18,33.

Wenn alſo die Ladung, welche den Ablenkungswinkel von 10^0 hervorbringt, mit 1 bezeichnet wird, ſo iſt die elektriſche Ladung, welche die Ausſchlagswinkel 40^0, 60^0, 80^0 hervorbringen, gleich 4,39 — 8,30 — 18,33.

Kohlrauſch's Tabelle geht von Grad zu Grad fort.

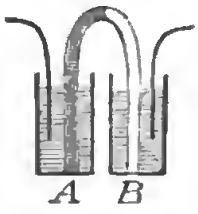
2) Man kann noch auf eine zweite Art das Inſtrument zum Meſſen elektriſcher Ladungen anwenden. Nachdem nämlich bei rechtwinkliger Stellung von Nadel und Streifen, während beide in Berührung waren, Elektricität mitgetheilt worden war, und nur die Berührung wieder aufgehoben worden iſt, kann man durch Drehung des Torſionskreiſes es dahin bringen, daß der Ausſchlagswinkel ſtets eine und dieſelbe Größe, etwa 30^0 hat. Aus bekannten Gründen iſt alsdann die elektriſche Ladung der Quadratwurzel auch der Torſion des Fadens proportional, welche nöthig iſt, um die Nadel auf die Ablenkung von 30^0 zu erhalten.

Nach beiden Methoden beſtimmt nun Kohlrauſch die Spannung an

den Polen verſchiedener einfacher Ketten; dieſe waren folgendermaßen arrangirt.

Die beiden Metalle waren zuſammen gelöthet; das eine tauchte in die Flüſſigkeit des Gefäßes *A* (Fig. 96), das andere in die Flüſſigkeit des Gefäßes *B*; in jedes Gefäß tauchte nun noch ein Meſſingdraht, welcher den Pol bildet. Der eine der Meſſingdrähte war gut abgeleitet, der andere wurde mit der Collatorplatte des Condenſators verbunden. Es wurde nach den beiden oben angeführten Methoden für jede Kette die Spannung, des poſitiven Pols ſowohl wie die des negativen, durch mehrere Verſuche beſtimmt, und das Mittel aus allen genommen.

Fig. 96.



Die elektromotoriſche Kraft der verſchiedenen galvaniſchen Elemente beſtimmte Kohlrauſch nach der Wheatſtone'ſchen Methode, von welcher alsbald die Rede ſein wird. Die folgende Tabelle enthält die Reſultate ſeiner Meſſung.

Beſchreibung der Kette.	Elektromotoriſche Kraft.	Spannung der geöffneten Kette.	
		I.	II.
1) Zink in Zinkvitriol — Platin in Salpeterſäure von 1,357 ſpec. Gew.	28,22	28,22	28,22
2) Zink in Zinkvitriol, jedoch die Salpeterſäure von 1,213 ſpec. Gewicht	28,43	27,71	27,75
3) Zink in Zinkvitriol — Kohle in Salpeterſäure von 1,213 ſpec. Gewicht	26,29	26,15	26,19
4) Zink in Zinkvitriol — Kupfer in Kupfervitriol	18,83	18,88	19,06
5) a. Silber in Cyankalium — Kochſalz — Kupfer in Kupfervitriol	14,08	14,27	14,29
b. Desgl. ſpäter	13,67	13,94	13.82
c. Desgl. noch ſpäter	12,35	12,36	12,26

Die Spannung der geöffneten Kette iſt nach den beiden oben angeführten Methoden beſtimmt. Die Zahlen unter I. ſind die nach der erſten, die unter II. die nach der zweiten Methode erhaltenen.

Weil ſowohl die Wurzeln aus den Torſionen als auch die Zahlen der

Tabelle auf S. 385 im LXXII. Bande von Poggendorff, welche die den verſchiedenen Ausſchlagswinkeln entſprechenden Spannungen angeben, ſo wie endlich die Zahlen, welche die elektromotoriſche Kraft ausdrücken, alle nach verſchiedenen Einheiten gemeſſen ſind, hat Kohlrauſch, um die Zahlenreſultate vergleichbarer zu machen, die Wurzeln aus den Torſionen ſämmtlich mit 1,0239, die durch den Ausſchlagswinkel beſtimmten Werthe mit 1,8136 multiplicirt, wodurch bewirkt wird, daß die Reſultate beim erſten Verſuch ganz gleich bleiben. Da nun aber auch die übrigen entſprechenden Zahlen ſehr nahe übereinſtimmen, ſo iſt durch dieſe Verſuchsreihe experimentell bewieſen, daß die elektromotoriſche Kraft der elektroſkopiſchen Spannung an den Polen der geöffneten Kette proportional iſt.

Es ließe ſich dieſer Satz wohl auch mit weniger empfindlichen Elektrometern nachweiſen, wenn man die Spannung an den Polen nicht eines einzelnen Elementes, ſondern einer Säule von 30, 40 und noch mehr Elementen beſtimmte.

Kohlrauſch's Inſtrument wäre gewiß auch ſehr geeignet, eine theoretiſche Streitfrage zu löſen, dem bereits Oben Erwähnung geſchehen iſt. Wenn man in ein Gefäß mit Waſſer einen Zinkſtreifen und einen Platinſtreifen eintaucht, ohne daß ſich dieſelben berühren, ſo müßte, nach Schönbein's Anſicht, wie ſie auf S. 238 entwickelt und in Fig. 89 verſinnlicht iſt, das obere Ende des Zinkſtreifens freie negative, das obere Ende des Platinſtreifens freie poſitive Elektricität zeigen, während es nach den Grundſätzen der Contacttheorie umgekehrt ſein muß. — Es wäre zu wünſchen, daß Kohlrauſch ſelbſt dies unterſuchte, weil er nicht allein ein vorzügliches Inſtrument der Art beſitzt, ſondern auch eine große Geſchicklichkeit in der Handhabung des Apparats erlangt hat.

Indirecte Methoden zur Beſtimmung der Conſtanten der Kette. 112 Das in dem Obigen durchgeführte, aus den Formeln 1 und 2 ſich ergebende Verfahren, um Widerſtand und elektromotoriſche Kraft einer galvaniſchen Kette zu ermitteln, dieſe Methode, zur Beſtimmung der Conſtanten, welche wir die Ohm'ſche nennen wollen, iſt ebenſo einfach als genau, wenn man nur mit zweckmäßigen Meßapparaten verſehen iſt und genügend conſtante Ketten anwendet. Beides aber fehlte in den erſten Zeiten nach der Publikation des Ohm'ſchen Geſetzes, und ſo kam es denn, daß man complicirtere Methoden anwenden mußte, um nur einigermaaßen übereinſtimmende Reſultate zu erhalten. Erſt nach und nach gelang es, zum Einfachen zurückzukehren, eine Erſcheinung, der wir in der Geſchichte der Phyſik ſehr oft begegnen.

Zunächſt fehlte es an einem zur Meſſung der Stromſtärke geeigneten Inſtrumente, denn die Multiplicatoren, welche man in Anwendung brachte,

litten an zwei Uebelſtänden; zunächſt waren ſie nur für ſchwache Ströme brauchbar, dann aber beſteht kein einfaches Geſetz zwiſchen dem Ablenkungswinkel und der Stromſtärke.

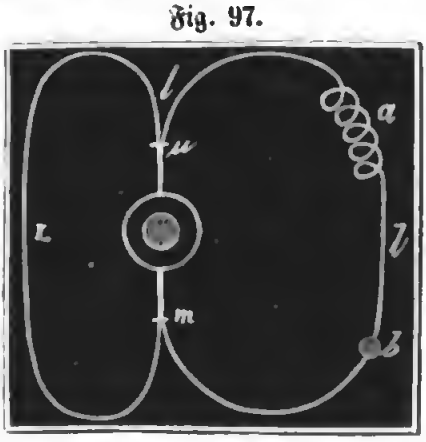
Mehrere Gelehrte haben freilich zum Theil ſehr ſinnreiche Methoden angegeben, ein Galvanometer zu graduiren, d. h. um auf empiriſchem Wege zu ermitteln, wie ſich die verſchiedenen Ablenkungsgrade zu den Stromſtärken verhalten, da ſie jedoch zur allgemeinen Anwendung nicht ſehr geeignet ſcheinen und nur in den Händen geſchickter Phyſiker brauchbare Reſultate liefern werden, ſo möchte es wohl Entſchuldigung finden, wenn ich hier dieſe Graduirungsmethoden nicht näher auseinanderſetze. Die Methode, welche Poggendorff angegeben hat, um das Galvanometer als Meßwerkzeug anzuwenden, finden ſich im LVI. Bande ſeiner Annalen, S. 324. In dieſem Aufſatze findet man auch eine kurze Zuſammenſtellung der von andern Phyſikern zu gleichem Zwecke angegebenen Methoden mit Angabe der Quelle, auf welche ich diejenigen verweiſen muß, welche in's Detail dieſes Gegenſtandes einzugehen beabſichtigen.

Fechner wandte zur Beſtimmung der Stromſtärke nicht die Ablenkung der Nadel, ſondern die Oscillationsdauer der Nadel um ihre Gleichgewichtslage für den Fall an, daß die Windungen des Multiplicators dieſer Gleichgewichtslage parallel ſind

Dieſe Oscillationsmethode iſt zu mühſam, um eine allgemeinere Anwendung zu geſtatten.

So ſah man ſich denn nach Methoden zur Ermittelung der Conſtanten der Kette (elektromotoriſche Kraft und Widerſtand) um, welche die Kenntniß der Stromſtärke gar nicht erfordern. Ja man fuhr ſelbſt in dieſen Beſtrebungen noch fort, nachdem Pouillet's und Weber's Tangenbuſſole, ſowie die Sinusbuſſole ſchon bekannt waren. Es iſt in der That auffallend, daß dieſe ſo wichtigen Inſtrumente, welche ſo große Vereinfachungen im Studium der galvaniſchen Geſetze möglich machten, nur allmälig allgemeinere Verbreitung und Anerkennung fanden.

Fig. 97.



Wir wollen die zweckmäßigſten dieſer indirecten Methoden näher betrachten.

Jakobi giebt folgende Methode an (Pogg. Ann. LVIII. S. 85). Der Schließungsbogen der Kette iſt in zwei Theile geſpalten, wie es Fig. 97 angedeutet iſt. Der Leitungswiderſtand des einen Zweiges ſei L, der Widerſtand des andern Zweiges, in welchen das Rheoſtat bei a, das Galvanometer

bei b eingeſchaltet iſt, ſey l, ſo iſt der Leitungswiderſtand, welchen dieſe beiden gleichzeitig eingeſchalteten Schließungsbogen hervorbringen $\frac{lL}{L+l}$, folglich die geſammte Stromſtärke, welche der Apparat liefert

$$S = \frac{E(L+l)}{\lambda(l+L)+lL},$$

wenn λ den Leitungswiderſtand des Elementes (ſammt den Drahtleitungen zwiſchen m und u) bezeichnet.

Der Theil des Geſammtſtroms, welcher durch das Galvanometer geht, iſt

$$S' = \frac{EL}{\lambda(lL+)+lL}.$$

Hebt man nun die Nebenſchließung auf, ſo wird die Stromſtärke in dem andern Schließungsbogen wachſen und man muß mittelſt des Rheoſtats noch den Widerſtand x hinzufügen, um die Galvanometernadel wieder auf ihren früheren Stand zu bringen; nun hat man aber für die Stromſtärke S' den Werth

$$S' = \frac{E}{\lambda+l+x}.$$

Aus dieſen und der vorigen Gleichung ergiebt ſich nun für λ der Werth

$$\lambda = \frac{xL}{l},$$

Da nun x, L und l bekannt ſind, ſo kann man nach dieſer Methode den Widerſtand des Elementes ermitteln, ohne den Werth für die Stromſtärke zu kennen.

Bringt eine andere Kette, deren Widerſtand λ' iſt, mit den Widerſtänden l' und x' (l' und x' bezeichnen hier die den obigen l und x entſprechenden Größen) dieſelbe Ablenkung am Galvanometer hervor, ſo hat man

$$S' = \frac{E'}{\lambda'+l'+x'},$$

wir haben alſo

$$E : E' = (\lambda+l+x) : (\lambda'+l'+x').$$

Man kann alſo nach dieſer Methode das Verhältniß der elektromotoriſchen Kräfte verſchiedener Volta'ſcher Combinationen ermitteln. Jakobi fand auf dieſe Weiſe, daß ſich die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette zu der der Grove'ſchen verhält wie 21 zu 35.

Wheatſtone giebt ein ſehr ſchönes Verfahren an, um die elektromotoriſche Kraft einer Kette zu beſtimmen, ohne vorher einen Werth für den Widerſtand der Kette gefunden zu haben (Pogg. Ann. LVII. S. 518).

Eine Kette, deren elektromotoriſche Kraft E iſt, giebt die Stromſtärke $S = \frac{E}{R}$, wenn R die Summe aller Widerſtände iſt. Iſt die elektromo-

toriſche Kraft einer andern Kette $n$mal ſo groß, ſo muß auch der Geſammtwiderſtand $n$mal ſo groß ſeyn, wenn dieſe zweite Kette dieſelbe Stromſtärke, alſo dieſelbe Ablenkung (etwa 45°) am Galvanometer hervorbringen ſoll, denn es iſt ja $\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR}$.

Fügt man nun zu dem Widerſtande R noch den Widerſtand r hinzu, ſo wird die Stromſtärke abnehmen, ſie wird auf $\frac{E}{R+r}$ ſinken, die Nadel des Galvanometers wird um eine beſtimmte Anzahl von Graden (etwa um 5°) zurückgehen. Will man bei Einſchaltung der zweiten Kette den Strom um ebenſo viel ſchwächen, will man alſo die Nadel ebenfalls von 45° bis auf 40° zurückgehen machen, ſo wird man zu dem Widerſtande nR noch den Widerſtand nr hinzufügen müſſen, denn wenn $\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR}$ ſo iſt auch $\frac{E}{R+r} = \frac{nE}{nR+nr}$. Die elektromotoriſchen Kräfte der beiden Ketten verhalten ſich alſo wie die Widerſtände, welche man den ſchon vorhandenen hinzufügen muß, um von einer beſtimmten Ablenkung (etwa 45°) ausgehend, die Nadel um gleich viel (etwa 5°) Grade zurückgehen zu machen.

Um die elektromotoriſchen Kräfte verſchiedener Ketten zu vergleichen, hat man alſo folgendes Verfahren einzuſchlagen. Man ſchaltet in den Schließungsbogen der Kette außer dem Galvanometer noch das Rheoſtat und ſo viel Draht ein, daß die Ablenkung der Nadel 45° beträgt; dann vermehrt man den Widerſtand durch Umdrehung des Rheoſtaten, bis die Ablenkung der Nadel nur noch 40° beträgt; die Anzahl der Umgänge iſt dann ein Maaß für die elektromotoriſche Kraft der Kette.

Nehmen wir z. B. an, man laſſe den Strom eines Daniell'ſchen Elementes durch den Rheoſtaten und das Galvanometer gehen, und habe ſoviel Draht eingeſchaltet, daß die Ablenkung 45° beträgt. Um die Ablenkung von 45° auf 40° herabzubringen, habe man 30 Windungen des Rheoſtaten hinzufügen müſſen.

Nun ſchalte man ein Grove'ſches Element in denſelben Schließungsbogen ein, und regulire den Geſammtwiderſtand ſo, daß die Nadel ebenfalls auf 45° ſteht. Um ſie jetzt auf 40 herunter zu bringen, müſſe man aber den Widerſtand um 50 Windungen des Rheoſtaten vermehren, dann würde ſich die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette zu der der Grove'ſchen verhalten wie 30 zu 50.

Es iſt dies offenbar das einfachſte Verfahren, um das Verhältniß der elektromotoriſchen Kräfte verſchiedener Ketten zu ermitteln.

Wheatſtone wandte als Rheometer einen Multiplicator an, und mußte

deshalb einen bedeutenden Widerſtand einſchalten, um die Stromſtärke hydroelektriſcher Elemente ſchwach genug zu machen. Unter dieſen Umſtänden kann natürlich auch nur ein Rheoſtat mit dünnem Draht angewandt werden

Obgleich nun urſprünglich dieſe Methode für einen Multiplicator berechnet iſt, ſo kann man ſie doch auch eben auf jedes andere Rheometer, alſo auch auf das Torſionsgalvanometer, die Tangentenbuſſole u. ſ. w. anwenden. Bei dieſen Inſtrumenten aber, welche ſtärkere Ströme geſtatten, braucht man natürlich den Strom nicht ſehr zu ſchwächen, und kann dann auch einen Rheoſtaten mit dickerem Draht anwenden.

Dieſe Wheatſtone'ſche Methode giebt uns die Werthe der elektromotoriſchen Kraft durch die Drahtlängen gemeſſen, welche erforderlich ſind, um den beſprochenen Rückgang der Nadel zu bewirken, dieſe Zahlen ſind alſo abhängig von der Individualität des Galvanometers und des Rheoſtaten.

Als Beiſpiele für ſeine Methode führt Wheatſtone folgende Meſſungen an. Drei kleine Daniell'ſche Ketten*) von ungleicher Größe wurden ſucceſſiv in die Kette gebracht. Um die Nadel von 45° auf 40° zurückzubringen, war folgende Anzahl von Umgängen des Rheoſtaten erforderlich:

Kupfercylinder	1½	Zoll hoch	2″	Durchm. . . .	30 Umgänge
»	3½	» »	2½″	»	30 »
»	6	» »	3½″	»	30 »

Die elektromotoriſche Kraft iſt alſo, der Theorie gemäß, von der Größe der Plattenpaare unabhängig.

Als der Reihe nach Säulen von 1, 2, 3, 4, 5 gleichen Elementen als Elektromotoren angewandt wurden, ergaben ſich folgendn Reſultate:

1 Element	erforderte	30 Umgänge
2 Elemente	erforderten	61 »
3 »	»	91 »
4 »	»	120 »
5 »	»	150 »

Die elektromotoriſche Kraft der Batterie iſt alſo, wie es auch die Theorie ausſpricht, der Anzahl der Plattenpaare proportional.

Ich habe nach dieſer Methode die elektromotoriſche Kraft eines Daniell'ſchen, eines Grove'ſchen, eines Stöhrer'ſchen und eines Deleuil'ſchen Elementes beſtimmt; ich wandte dabei die Tangentenbuſſolen und einen Rheoſtaten mit dickem Draht an.

---

*) Die Elemente waren etwas anders conſtruirt als die gewöhnlichen Daniell'ſchen. Die poröſe Thonzelle enthielt nämlich bloß flüſſiges Zinkamalgam und ſtand ſo wie der ſie umgebende Cylinder von Kupferblech in einer Löſung von Kupfervitriol.

Um die Nadel von 15° auf 10° zurückzubringen, waren nöthig

bei dem Daniell'ſchen Element . . .	9	Umgänge
» » Grove'ſchen » . . .	13	»
» » Stöhrer'ſchen » . . .	13,6	»
» » Deleuil'ſchen » . . .	15,1	»

Für die Deleuil'ſche Kette war gleichzeitig die elektromotoriſche Kraft nach der chemiſchen Methode beſtimmt worden, die Reſultate dieſer Beſtimmungen finden ſich bereits in der Tabelle auf pag. 256. Von den 6 Meſſungen für die Deleuil'ſche Kette gehören die drei letzten hierher.

Nach dieſen Beſtimmungen iſt es nun leicht, die Anzahl der Umgänge, welche nöthig ſind, um die Nadel von 15 auf 10° zurückzubringen, auf die oben beſprochene Einheit für die elektromotoriſche Kraft zu reduciren. Es entſprechen nämlich

15,1 Umgänge einer elektromotoriſchen Kraft . . .	823	
alſo 1 Umgang » » » . . .	54,51.	

Aus den durch Umdrehungen des Rheoſtaten ermittelten Zahlenwerthen für die elektromotoriſche Kraft würden ſich alſo für dieſelbe in unſerer Einheit ausgedrückt folgende Werthe ergeben:

für die Daniell'ſche Kette	490
» » Grove'ſche »	709
» » Stöhrer'ſche »	741.

Das Zink der Daniell'ſchen Kette ſtand bei der letzten Meſſung wieder in ſtärkerer Schwefelſäure, für welchen Fall die directe Meſſung den Werth 486 gegeben hatte. Für die Stöhrer'ſche Kette wurde früher die elektromotoriſche Kraft etwas größer gefunden. — Die Zahlen für die Grove'ſchen Ketten differiren bedeutender, es iſt deshalb auf dieſelben kein Gewicht zu legen.

Auf dieſelbe Weiſe, wie es hier geſchehen iſt, laſſen ſich die mittelſt eines jeden Rheoſtaten gefundenen Werthe der elektromotoriſchen Kraft, welche noch mit der Individualität des Inſtrumentes behaftet ſind, auf unſere Einheit reduciren, wenn man nur einmal den entſprechenden Factor ausgemittelt hat.

Um den Widerſtand des Elementes zu beſtimmen, hat Wheatſtone mehrere Methoden angegeben, von denen wir hier nur die erſte hervorheben wollen.

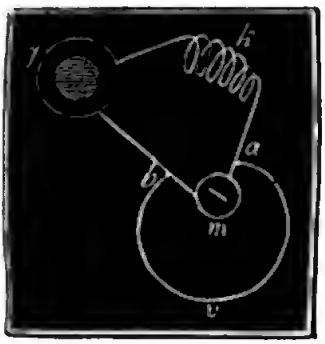
Man bringe das Galvanometer und den Rheoſtaten in die Kette und ajuſtire letztere ſo, daß die Nadel des erſteren auf einen beſtimmten Punkt zu ſtehen kommt. Die Stromſtärke S iſt jetzt

$$S = \frac{E}{R + g},$$

wenn man mit E die elektromotoriſche Kraft, mit g den Leitungswiderſtand

des Multiplicators, mit R den gesammten übrigen Leitungswiderstand in der Kette bezeichnet. Diese Anordnung wird durch Fig. 98 anscheinlich gemacht; g stellt das galvanische Element, k den Rheostaten, m den Multiplicator dar.

Fig. 98.



Nun zweige man den Strom, welcher durch den Galvanometer geht, durch einen Draht ab, dessen Widerstand ganz gleich ist dem Widerstande des Multiplicators, so wird nun von a aus die eine Hälfte des Stroms durch v nach b, die andere Hälfte durch den Multiplicator nach b gelangen. Der Widerstand zwischen a und b ist jetzt nur halb so groß als vorher, da nur der Multiplicator da war, die Stärke des ungetheilten Stromes ist demnach jetzt

$$\frac{E}{R + \frac{g}{2}}$$

von diesem Strome geht die Hälfte durch den Multiplicator, die Stärke des durch dies Instrument gehenden Stromes ist also jetzt nur

$$S' = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{E}{R + \tfrac{1}{2} g}.$$

Man kann aber die Nadel dadurch wieder auf ihre ursprüngliche Stellung bringen, daß man mittelst des Rheostaten den Widerstand R gehörig verkleinert. Hat man durch Umdrehen des Rheostaten den Widerstand des ungetheilten Theils der Kette von R auf $\frac{1}{2} R$ herabgebracht, so ist nun die Stromstärke

$$S'' = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{E}{\frac{R}{2} + \frac{g}{2}} = \frac{E,}{R + g'}$$

sie ist also wieder so stark wie anfänglich. Hat man also nach Einschaltung des Zweigdrahtes v eine Anzahl von n Windungen des Rheostaten aus der Kette entfernen müssen, um die ursprüngliche Ablenkung der Nadel wieder zu erhalten, so ist der gesammte Widerstand R des ungetheilten Theiles der Kette gleich den von 2 n Windungen.

Der Widerstand R besteht aber aus zwei Theilen, dem wesentlichen Widerstande des Elementes und dem Widerstande der Drahtleitungen von einem Pol des Elementes bis a, und vom anderen Pole bis b. Man hat den Widerstand dieser Drahtleitungen zu ermitteln und von R abzuziehen, um den wesentlichen Widerstand des Elementes zu finden.

Diese, so wie alle übrigen indirecten Methoden zur Bestimmung des wesentlichen Widerstandes eines Elementes sind nun freilich nicht so einfach,

daß man ſie der oben beſprochenen directen Beſtimmung vorziehen möchte, wenn man über ein Inſtrument zur Meſſung der Stromſtärke zu disponiren hat.

113 **Poggendorff's Methode zur Beſtimmung der elektromotoriſchen Kraft inconſtanter Ketten.** Im LIII. Bande ſeiner Annalen S. 436 theilt Poggendorff ſeine erſten Unterſuchungen über die elektromotoriſche Kraft der Zinkeiſenkette mit. Obgleich das Eiſen in der Spannungsreihe dem Zink ungleich näher ſteht als Kupfer, ſo iſt doch der Strom, welchen die Combination Zinkeiſen in verdünnter Schwefelſäure liefert, ſtärker als der Strom eines Elementes von Kupfer und Zink in derſelben Flüſſigkeit und unter ſonſt ganz gleichen Umſtänden.

Dies Reſultat ſchien auf den erſten Anblick im Widerſpruche mit der Contacttheorie zu ſeyn, und deshalb unternahm Poggendorff eine genauere Prüfung. Er beſtimmte, ſo gut es bei den veränderlichen Strömen von Ketten mit einer Flüſſigkeit möglich iſt, nach der Ohmiſchen Methode den Widerſtand und die elektromotoriſche Kraft der beiden Combinationen, und fand, daß ſich in der That die elektromotoriſche Kraft der Zinkeiſenkette zu der der Zinkkupferkette verhält wie 21,5 zu 11,8.

Die elektromotoriſche Kraft der Zinkeiſenkette ergab ſich alſo wirklich größer als die der Zinkkupferkette, obgleich das Eiſen in der Spannungsreihe zwiſchen Zink und Kupfer ſteht. Poggendorff erkannte ganz richtig, daß dieſe Anomalie lediglich in der Polariſation der Platten ihre Urſache haben könne. Die elektromotoriſche Kraft, welche urſprünglich den Strom in Bewegung ſetzt, iſt zwar weſentlich durch die elektriſche Differenz der beiden ſich berührenden Metalle bedingt, allein ſobald der Strom zu circuliren beginnt, erfahren die Metallplatten eine Polariſation, welche die urſprüngliche elektromotoriſche Kraft vermindert, und dieſe Polariſation iſt bedeutender für die Combination Zinkkupfer als für die Combination Zinkeiſen.

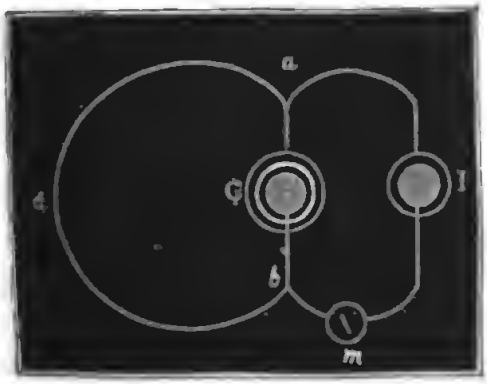
Dieſe galvaniſche Polariſation werden wir ſpäter noch ausführlicher betrachten; hier iſt nur ſo weit die Rede davon, als nöthig iſt, um den Gang der Poggendorff'ſchen Unterſuchung auseinanderzuſetzen.

Wenn alſo die nach der Ohm'ſchen Methode gefundenen Werthe für die elektromotoriſche Kraft nicht mit der Spannungsreihe harmoniren, ſo liegt, wie ſchon bemerkt wurde, der Grund davon lediglich in der Modification, welche die urſprüngliche elektromotoriſche Kraft durch die Polariſation erleidet. Poggendorff beſtrebte ſich, nur den Werth dieſer urſprünglichen noch nicht durch Polariſation modificirten elektromotoriſchen Kraft zu beſtimmen. Wir übergehen die früheren Bemühungen, durch welche dies Ziel nur unvollſtändig erreicht wurde, und wenden uns gleich zur Betrachtung einer Methode, welche Poggendorff im LIV. Bde. ſeiner Annalen Seite 161 publicirt hat.

Dieſe Methode unterſcheidet ſich weſentlich von allen anderen dadurch, daß bei ihr nicht der Strom einer Kette gemeſſen wird, ſondern bloß die Tendenz zu demſelben. — Um die Polariſation zu vermeiden, ſtrebte Poggendorff dahin, den Strom der Kette gar nicht zur Wirkſamkeit kommen zu laſſen, ſondern ihn von vornherein durch einen anderen zu compenſiren, deſſen elektromotoriſche Kraft conſtant und bekannt iſt.

Die Auseinanderſetzung und Begründung ſeiner Compenſationsmethode iſt bei Poggendorff etwas weitläufig, und eben deshalb auch nicht recht überſichtlich, ich bin deshalb in Folgendem von ſeiner Darſtellungsweiſe abgewichen, da ich mir möglichſte Verſtändlichkeit zur Hauptaufgabe bei Abfaſſung dieſes Berichtes gemacht habe.

Fig. 99.



In Fig. 99 ſtelle C ein conſtantes Element, etwa ein Grove'ſches und I ein anderes Volta'ſches Element dar, deſſen elektromotoriſche Kraft geringer iſt als die von C. Die poſitiven Pole beider ſind leitend verbunden, ebenſo die negativen. In die Verbindung zweier gleichnamiger Pole iſt ein Multiplicator m eingeſchaltet; die Verbindung der beiden anderen Pole kann bei a beliebig unterbrochen und wieder hergeſtellt werden. Die Drahtleitung $a\,d\,b$ ſchließt die conſtante Kette C.

Nehmen wir an, das Element I ſey dem C vollkommen gleich und die Verbindung bei a hergeſtellt, ſo ſtellt uns dieſe Combination nichts anders dar, als zwei Elemente, die ſo verbunden ſind, daß ſie ein einziges von doppelter Oberfläche darſtellen; iſt aber die elektromotoriſche Kraft von I ſchwächer als die von C, ſo ſind die Stromwirkungen etwas complicirter.

Bezeichnen wir

mit l den Widerſtand des Elementes C ſammt den Drahtleitungen zwiſchen a und b,

mit l' den Widerſtand des Elementes I ſammt den Drahtleitungen zwiſchen a und b, alſo den Widerſtand des Multiplicators m mit eingerechnet,

mit r den Widerſtand der Drahtleitung $a\,d\,b$; bezeichnen wir ferner

mit E die elektromotoriſche Kraft von C,

mit E' die elektromotoriſche Kraft von I.

Der Strom des Elementes C theilt ſich bei a und b in zwei Theile, von denen der eine durch die Drahtleitung über d, der andere durch I geht. Der Leitungswiderſtand des einen Zweiges iſt r, der des anderen iſt l',

folglich iſt der Widerſtand beider neben einander befindlichen Zweige $\frac{l' r}{l' + r}$ und der ungetheilte Strom, welchen C liefert, iſt

$$\frac{E}{l + \frac{l' r}{l' + r}} = \frac{E (l' + r)}{l (l' + r) + l' r}$$

wenn man von der elektromotoriſchen Kraft in I abſtrahirt.

Derjenige Theil dieſes Geſammtſtromes, welcher durch I geht, iſt

$$\frac{E r}{l (l' + r) + r . l'} \ldots\ldots 1)$$

Der Geſammtſtrom, welchen I liefert und welcher ſich nachher in die Zweige aCb und adb ſpaltet, iſt

$$\frac{E' (l + r)}{l' (l + r) + r l} \ldots\ldots 2)$$

Die beiden Ströme 1) und 2) gehen in entgegengeſetzter Richtung durch den Multiplicator. Da nun die Nenner der beiden Stromwerthe bei 1) und 2) einander gleich ſind, ſo wird offenbar der Multiplicator auf dem Nullpunkt ſtehen bleiben, wenn

$$E r = E' (l + r) \ldots\ldots 3)$$

Für beſtimmte Werthe von E, E' und l wird es alſo ſtets einen Werth von r geben, für welchen der Gleichung 3) Genüge geleiſtet wird, d. h. es giebt eine beſtimmte Länge des Schließungsdrahtes adb, bei welcher der Multiplicator keinen Strom anzeigt, wenn man den von a kommenden Draht mit dem einen Pol von C in Berührung bringt.

Iſt der Widerſtand r zu groß, ſo wird der Multiplicator einen Strom zu Gunſten von C anzeigen, hingegen wird im Multiplicator der Strom von C überwiegen, wenn der Widerſtand r zu klein iſt.

Hat nun der Widerſtand r im Drahte adb gerade eine ſolche Größe, daß der Multiplicator auf Null ſtehen bleibt, wenn man bei a ſchließt, daß alſo die Gleichung 3) erfüllt iſt, ſo ergiebt ſich aus dieſer Gleichung

$$E' = E \frac{r}{l + r} \ldots\ldots 4)$$

man kann alſo den Werth von E', d. h. die elektromotoriſche Kraft von I berechnen, wenn man die elektromotoriſche Kraft von C, alſo E und den Werth der Widerſtände l und r kennt.

Natürlich kann man die richtige Länge des Drahtes adb nicht gleich auf den erſten Wurf treffen; vielmehr wird in der Regel, wenn man bei a ſchließt, die Multiplicatornadel nach der einen oder andern Seite abweichen, je nachdem der Draht zu lang oder zu kurz iſt. Durch ein Paar Proben, wobei man den Draht adb zweckmäßig verlängert oder verkürzt, findet man indeß leicht die Länge deſſelben, bei welcher entweder gar kein

oder doch nur ein höchſt ſchwacher Strom im Galvanometer angedeutet wird.

Dies iſt nun als eine erſte Annäherung zum richtigen Verhältniß zwiſchen r und l zu betrachten. Man läßt nun die Kette I eine Zeit lang ungeſchloſſen, damit ſich alle Polariſation verliere, oder noch beſſer, man nimmt die negative Platte aus der Flüſſigkeit, reinigt ſie und ſetzt ſie dann wieder an ihre Stelle. Entſteht nun noch ein Ausſchlag, wenn man bei a ſchließt, ſo regulirt man abermals die Länge des Drahtes adb, bis man das richtige Verhältniß hergeſtellt hat. Es iſt nun der Strom, welchen die noch nicht durch Polariſation modificirte elektromotoriſche Kraft des Elementes I zu erzeugen ſtrebt, compenſirt, und man kann den Werth E' derſelben nach Gleichung 4) berechnen.

Zunächſt prüfte Poggendorff ſeine Methode dadurch, daß er nach ihr die elektromotoriſche Kraft von conſtanten Elementen beſtimmte, die man auch auf andere Art ermitteln kann, und fand ganz übereinſtimmende Reſultate. Er fand nach der Ohm'ſchen Methode

die elektromotoriſche Kraft eines Grove'ſchen Elementes = 25,886,
» » » » Daniell'ſchen Elementes = 15,435.

Es wurde nun das Grove'ſche Element an die Stelle von C, das Daniell'ſche an die Stelle von I Fig. 99. geſetzt. l war 35,03. Das fragliche Gleichgewicht fand ſtatt als $r = 52{,}68$; für dieſen Fall iſt alſo $\frac{l + r'}{r} = 1{,}668$, mithin ergiebt ſich nach dieſer Methode

$$E' = \frac{25{,}886}{1{,}668} = 15{,}51,$$

was mit dem nach der Ohm'ſchen Methode beſtimmten Werthe von E' ſehr gut übereinſtimmt.

Poggendorff wandte nun dieſe Methode zur Ermittelung der urſprünglich elektromotoriſchen Kraft in conſtanten Ketten an. Die elektromotoriſche Kraft der zur Vergleichung zu Grunde gelegten Grove'ſchen Kette war nach der Ohm'ſchen Methode gleich 22,88 gefunden worden, und es ergab ſich für die urſprünglich elektromotoriſche Kraft einer inconſtanten Kette aus

Zink-Kupfer . . .	13,79
Zink-Eiſen . . .	7,40
Eiſen-Kupfer . .	6,00

Dieſe Reſultate beweiſen, daß die urſprünglichen elektromotoriſchen Kräfte dieſen Combinationen in der That dem Geſetz der Spannungsreihe ſehr nahe genügen, denn es iſt die elektromotoriſche Kraft für Kupfer-Eiſen + der elektromotoriſchen Kraft für Eiſen-Zink nahe gleich der elektromoto-

riſchen Kraft für Kupfer-Zink, denn es iſt 7,4 + 6 = 13,4, alſo wirklich nahe gleich 13,79.

Wenn alſo der Strom der Zinkeiſenkette ſtärker iſt als der der Zinkkupferkette, wenn man nach der Ohm'ſchen Methode auch die elektromotoriſche Kraft der erſten Combination größer findet, als die der letzteren, ſo iſt dies lediglich eine Folge, daß der Strom bei der Combination Zinkkupfer eine ſtärkere, der urſprünglichen elektromotoriſchen Kraft entgegenwirkende Polariſation erzeugt als bei der Zinkeiſenkette.

114 **Vergleichung verſchiedener Volta'ſcher Combinationen.** In den letzten Paragraphen haben wir geſehen, wie man die Conſtanten einer Volta'ſchen Combination ermitteln und in vergleichbaren Werthen ausdrücken kann. Alle Angaben über die Effecte einer Säule, wie man ſie gewöhnlich angeführt findet, um die eine oder die andere Combination zu empfehlen, geben keine genügende Beſtimmungen für die Leiſtungsfähigkeit der Apparate. Der Mangel an genauen numeriſchen Beſtimmungen veranlaßt große Täuſchungen in Beziehung auf die Vortheile und Nachtheile der verſchiedenen galvaniſchen Combinationen. Finden wir ſolche Unbeſtimmtheiten und Täuſchungen ſchon bei Männern der Wiſſenſchaft, ſo darf es uns gar nicht wundern, in techniſchen Journalen Vorſchläge zu finden, welche eine gänzliche Unkenntniß aller Principien beurkunden, um die es ſich hier handelt.

Betrachten wir die wichtigſten galvaniſchen Combinationen etwas näher.

115 **Die einfache Zinkkupferkette.** Die Wollaſton'ſche Batterie iſt eine zweckmäßige Form der einfachen Zinkkupferkette mit einer Flüſſigkeit. Man findet ſie in meinem Lehrbuch der Phyſik abgebildet und beſchrieben.

Die Ketten von Young und Münch kann man als Variatäten der Wollaſton'ſchen betrachten, und es dürfte deshalb eine weitere Beſchreibung derſelben unnöthig ſeyn.

Die einfache Zinkkupferkette gehört bekanntlich nicht zu den conſtanten Ketten, indem die elektromotoriſche Kraft durch die in Folge des Stromes auftretende Polariſation an der Kupferplatte ſehr bedeutend modificirt wird. Poggendorff fand die noch nicht durch Polariſation modificirte elektromotoriſche Kraft der Zinkkupferkette in verdünnter Schwefelſäure gleich 13,8 (Seite 275), wenn die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Kette gleich 229, iſt.

Nehmen wir nach chemiſcher Einheit die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Kette gleich 830 (vergleiche die Tabelle auf S. 256), ſo wäre nach dieſer Einheit die unmodificirte elektromotoriſche Kraft der Zinkkupferkette gleich 500. Nach meinen Verſuchen iſt aber, wenn der Strom zur Entſtehung gekommen iſt, die elektromotoriſche Kraft der Zinkkupferkette nur gleich 208; durch die Polariſation wird alſo die elektromotoriſche

Kraft ſehr bald auf $^2/_3$ ihres urſprünglichen Werthes herabgebracht, und dies iſt nun auch die Urſache, daß gleich nach dem Eintauchen der Strom außerordentlich ſtark iſt, aber dann ſehr raſch abnimmt. Hat einmal die Polariſation ihr Maximum erreicht, ſo bleibt nun der Strom ziemlich conſtant, ſo wenigſtens, daß man annähernd genaue Meſſungen machen kann. Die Zahlen, aus denen die auf S. 256 mitgetheilten Werthe der elektromotoriſchen Kraft und des Leitungswiderſtandes der Wollaſton'ſchen Kette berechnet wurden, ſind nicht unmittelbar beobachtet, ſondern das Mittel aus mehreren Ableſungen. Um einen richtigen Begriff von dem Verhalten dieſer Kette zu geben, will ich die entſprechende Beobachtungsreihe ganz herſetzen:

Einſchaltung.	Ablenkung.
0	26°
Kupferdraht . . .	12°
» . . .	11,5
0 . . .	24
Kupferdraht . . .	11
» . . .	11,25
0 . . .	23,5
Meſſingdraht . . .	5
0 . . .	24
Meſſingdraht . . .	5
0 . . .	22
» . . .	23
Kupferdraht . . .	11
0 . . .	23

Nach Schließung der Kette vergingen einige Minuten, bis die Nadel nach anfangs ſehr lebhaften Oscillationen zur Ruhe gekommen war; ſelbſt nachdem die Oscillationen aufgehört hatten, ging ſie noch langſam zurück und erſt bei 26° wurde ſie ziemlich ſtationär. Es iſt dies die erſte Aufzeichnung. Nun wurde ein Kupferdraht eingeſchaltet, deſſen Widerſtand durch frühere Verſuche gleich dem von 7,2 Metern Normaldraht gefunden worden war. Die Nadel ſtellte ſich bei 12° feſt und ging nach einiger Zeit auf 11,5° zurück.

Der Kupferdraht wurde wieder aus dem Schließungsbogen herausgenommen, nun war die Ablenkung 24° u. ſ. w.

Der Meſſingdraht, welcher die Ablenkung auf 5° herabbrachte, hatte einen Leitungswiderſtand gleich dem von 29,2 Metern Normaldraht.

Man ſieht, daß der Strom dieſes Elementes, wenn einmal die erſten Schwankungen vorüber ſind, ziemlich conſtant bleibt, wenigſtens ſo, daß man angenähert genaue Meſſungen zur Berechnung der elektromotoriſchen

Kraft und des Leitungswiderſtandes machen kann. Freilich wird die elektromotoriſche Kraft durch den Strom ſehr bedeutend geſchwächt, dagegen iſt auch der Leitungswiederſtand ſelbſt bei ſehr ſchwacher Säure nicht bedeutend. Wo es alſo nicht darauf ankommt, genaue Meſſungen zu machen, und wo man nicht auf längere Zeit einen beſtändigen Strom nöthig hat, alſo zu vielen galvaniſchen Verſuchen, laſſen ſich die Zinkkupferketten mit Vortheil anwenden; hat man Elemente mit großen Oberflächen nöthig, ſo iſt dann die Form der Hare'ſchen Spirale vorzuziehen.

Die Stärke der Polariſation iſt höchſt wahrſcheinlich von der Stromſtärke abhängig, doch fehlen uns darüber bis jetzt noch genauere Unterſuchungen.

Der Grund, warum die Ketten mit einer Flüſſigkeit nicht conſtant ſind, iſt in der Polariſation der negativen Platte zu ſuchen, und dieſe wird in den ſogenannten conſtanten Ketten möglichſt vermieden. Deſſen ungeachtet nimmt doch auch die Stromſtärke der conſtanten Ketten allmälig ab, wenn man ſie längere Zeit geſchloſſen läßt, weil die Flüſſigkeit ſich allmälig ändert, indem die verdünnte Schwefelſäure ſich nach und nach in eine Löſung von Zinkvitriol verwandelt. Eine entſprechende Veränderung in der Natur der Flüſſigkeit findet bei allen Ketten ohne Ausnahme ſtatt, und ſie ließe ſich nur dadurch vermeiden, daß man die Flüſſigkeit von Zeit zu Zeit erneuerte. — Durch eine Hebervorrichtung könnte man es wohl einrichten, daß die ſchwerere Zinkvitriollöſung aus dem untern Theil des Gefäßes langſam abfließt, und oben in demſelben Maaße friſche Säure zufließt.

Ein Umſtand, der bei allen Ketten ohne poröſe Scheidewand ganz beſonders nachtheilig wirkt, iſt der, daß in Folge des Stroms das Zinkſalz die Löſung zerſetzt und Zink metalliſch auf der negativen Platte abgelagert wird, wodurch dann freilich bei längerer Schließung der Kette die elektromotoriſche Kraft der Kette mehr und mehr abnehmen muß.

Die Beſtändigkeit der Stromſtärke einer Kette hängt weſentlich von der Größe dieſer Stromſtärke ab. Schwache Ströme, wie man ſie erhält, wenn man ſtark verdünnte Säure anwendet, und große Leitungswiderſtände in den Schließungsbogen einſchaltet, bleiben leicht längere Zeit conſtant, während bei Anwendung ſtärkerer Säure und geringer Leitungswiderſtände die Stromſtärke nothwendig weit raſcher abnehmen muß. Will man daher verſchiedene Ketten in Beziehung auf ihre Beſtändigkeit vergleichen, ſo muß man gleiche Widerſtände und gleiche Säure anwenden; die Nichtberückſichtigung dieſes Umſtandes mag wohl ſchon zu mannigfachen Täuſchungen über die Beſtändigkeit einzelner Ketten Veranlaſſung gegeben haben.

So führt man Ketten als ſehr conſtant an, welche aus Zink und Kup-

ferplatten beſtehen, die in den feuchten Erdboden eingegraben ſind. Solche Ketten können natürlich nur ſehr ſchwache Ströme geben, weil der Leitungswiderſtand zwiſchen den Platten ſehr groß iſt, es iſt alſo wohl begreiflich, daß der Strom dieſer Ketten länger conſtant bleibt, als wenn man die Platte in Säure eintaucht.

Fürſt Bagration ſtellte Platten in Gefäße, die mit Sand gefüllt ſind, welcher mit einer Salmiaklöſung mäßig befeuchtet wird. Garnier wendet ſolche Ketten mit Erfolg an, um elektromotoriſche Uhren damit im Gang zu halten (Dingler's pol. Journ. 110. Bd. S. 177.); hier reicht nämlich eine ſehr geringe Stromſtärke hin, um den kleinen Elektromagneten einen hinlänglichen ſtarken Magnetismus zu ertheilen.

Garnier's Apparat hatte folgende Einrichtung. Der Sand befand ſich in einem Fäßchen; Zink und Kupfer hatten die Form von Cylindern, das Kupfer bildet den äußeren, das Zink den inneren. Die Oberfläche des Kupfers war 1,5, die des Zinks 1,3 Quadratdecimeter. Ein ſolches Element hielt den Apparat 2½ Monat lang in Gang. Wendet man eine Batterie aus mehreren ſolchen Elementen an, ſo läßt ſich die Einrichtung treffen, daß man ohne den Strom zu unterbrechen ein einzelnes Plattenpaar herausnehmen und erneuern kann.

Koppinsky (Dingler's Journal, 101 Band, pag. 222; technologiste, März 1846, Seite 241) fand die Erwartungen, die er ſich von dieſen Ketten gemacht hatte, nicht erfüllt. Wahrſcheinlich hat er ſtarke Ströme mit denſelben hervorbringen wollen. Auch beläſtigten ihn die Salmiakdämpfe. Die ungünſtigen Reſultate ſind nach ſeiner Anſicht der Iſolirung zuzuſchreiben, weil ſich die Batterie nicht mit Elektricität aus dem Boden ſpeiſen kann und weil ſie nicht vor dem Einfluß der Luft geſchützt wird, welche alſo die durch die Berührung der Metalle erzeugte Elektricität neutraliſiren kann.

Ich führe dies als ein Beiſpiel an, welchen abenteuerlichen Vorſtellungen über den galvaniſchen Strom und die galvaniſche Kette man in techniſchen Zeitſchriften noch begegnet. Die Redactionen techniſcher Zeitſchriften ſollten in der That in ſolchen Fällen kritiſcher ſeyn und ſolche Behauptungen, welche nur geeignet ſind, Leute zu verwirren, die keine gründlichen phyſikaliſchen Kenntniſſe haben, entweder gar nicht paſſiren zu laſſen oder doch mit den nöthigen Erläuterungen zu begleiten.

Nachdem alle übrigen Ketten keine Gnade bei ihm gefunden haben, ſchlägt endlich Koppinsky vor, für galvanoplaſtiſche Arbeiten Zinkkupferelemente anzuwenden, deren Platten 1 Quadratmeter Oberfläche haben und die 2 bis 3 Millimeter weit von einander entfernt in verdünnter Schwefelſäure eingetaucht ſind. — Es iſt dies eine der älteſten Formen, die man großplattigen Elementen gegeben hat, und die ſpäter ſehr zweck-

mäßig von Hare in die Form einer Spirale umgewandelt wurde; von dieſer Seite enthält alſo Koppinsky's Vorſchlag durchaus nichts neues. Neu, aber auch zwecklos, iſt dagegen die Vorſchrift, die Säure in Gefäßen von nicht harzigem Holze zu gießen und auf feuchten Boden zu ſetzen.

Wie ſchwach der Strom iſt, welchen in den feuchten Boden eingegrabene Metallplatten liefern, geht aus den Verſuchen von Weekes hervor (Dingler's Journal, 97. Band, Seite 194), welcher mit einer Zink- und einer Eiſenplatte, deren jede 54 Quadratdecimeter Oberfläche hatten und die in nicht ſehr feuchtem Boden eingegraben waren, einen Strom erhielt, welcher die aſtatiſche Nadel eines Multiplicators um 87° ablenkte, welche Ablenkung jedoch bald auf 61° fiel. Der Strom war alſo außerordentlich ſchwach.

Eine Säule von 36 Paaren dieſer Art gab zwiſchen Kohlenſpitzen ein Licht, welches ſtark genug war, um in ½ Meter Entfernung noch feinen Druck leſen zu können. Vergleicht man dieſen höchſt unbedeutenden Effect mit der glänzenden Lichterſcheinung, welche 36 Zinkkohlen- oder Zinkplatinelemente hervorzubringen im Stande ſind, ſo begreift man in der That kaum, wie Herr Weekes die Hoffnung hegen mag, ſolche Ketten könnten ein vortheilhaftes Beleuchtungsmittel geben.

Freilich waren die Platten des Herrn Weekes in ziemlich trockenen Boden eingeſetzt; bei feuchterem Boden werden ſie allerdings einen ſtärkeren Strom liefern, doch nie ſo ſtark, als ob man die Platten direct in Waſſer eingetaucht hätte. Befeuchtet man den Sand mit einer Salmiaklöſung, ſo wird die Stromſtärke ſich doch nie derjenigen nähern können, welche dieſelben Platten, in Salmiaklöſung getaucht, zu liefern im Stande ſind. Solche eingegrabene Platten können alſo höchſtens in ſolchen Fällen angewendet werden, wo man nur ſehr ſchwacher Ströme bedarf. Solche ſchwache Ströme kann man aber auch mit andern Ketten auf längere Zeit ziemlich conſtant erhalten, wenn man nur ſehr verdünnte Säuren anwendet. Jedenfalls haben die eingegrabenen Platten den Nachtheil, daß ſie nicht ſo zugänglich ſind, wie die Platten anderer Batterien.

116 **Smee'ſche Kette.** Die Smee'ſche Kette wurde von vielen Seiten ſehr gerühmt; ſie ſollte ſehr ſtarke Ströme liefern und auch bedeutend mehr conſtant ſeyn als andere Ketten mit einer Flüſſigkeit. Meſſungen wurden zur Unterſtützung dieſer Meinung nicht angeſtellt; ich habe ſie nicht beſtätigt gefunden.

Das Kupfer der Wollaſton'ſchen Batterie iſt bei der Smee'ſchen Kette durch Platin oder Silber erſetzt, welches mit Platinmoor überzogen iſt. Dieſen Ueberzug von Platinmoor erhält man, wenn man die wohl gereinigte Metallplatte von Platinkaliumchlorür eintaucht und mit dem negativen Pole einer nicht gar ſtarken Säule in Verbindung bringt, deren

positiver Pol gleichfalls in die Lösung eingetaucht ist. Das Platin setzt sich auf der negativen Polplatte ab. — Wenn die positive Polplatte selbst von Platin ist, so wird sie durch das Chlor angegriffen und die Lösung behält ihren Sättigungsgrad.

Den beiden Flächen der platinirten Platte der Smee'schen Batterie stehen in einer Entfernung von ungefähr 1 Linie Zinkplatten gegenüber. Die Breite der Zinkplatten soll nur $\frac{1}{3}$ von der Breite der platinirten Platte seyn; was dies für einen Vortheil haben soll, kann ich nicht einsehen; bei dem Smee'schen Element, mit welchem ich Versuche angestellt habe, ist es nicht der Fall; in demselben war die negative Platte eine platinirte Silberplatte.

Ich fand dieses Element ungleich weniger constant als ein Wollaston'sches, die Schwankungen der Nadel waren viel bedeutender. Bei gleicher Flüssigkeit gab das Smee'sche Element in einer Versuchsreihe, welche gerade ebenso angestellt wurde wie die auf Seite 277 beschriebene Versuchsreihe, folgende Resultate:

Einschaltung	Ablenkung
0	30° geht rasch zurück auf
—	28
Kupferdraht	12,5
0	28,5
nach einigen Schwankungen	
0	25
Kupferdraht	12
0	25
Abgespült.	
0	28,5
0	26
nach vielen Schwankungen	
0	25
Messingdraht	5,5
—	5
0	29
0	26
0	24.

Nehmen wir im Mittel für die Einschaltung 0, die Ablenkung 26°; bei Einschaltung des Kupferdrahtes 12,25; des Messingdrahtes 5,5, so ergiebt sich die elektromotorische Kraft des Smee'schen Elementes gleich **313**, also kaum merklich größer als die des Wollaston'schen, welche, wie wir oben Seite 257 gesehen haben, 208 ist. Bei gleicher Oberfläche sind die Widerstände beider Elemente ebenfalls ziemlich gleich; nach die-

ſen Verſuchen ſcheint es nicht, als ob das Smee'ſche Element irgend einen Vorzug vor dem Wollaſton'ſchen verdiene. Ob platinirtes Platin beſſere Reſultate liefert als platinirtes Silber, iſt noch zu ermitteln.

117 **Die Zinkkupferkette mit zwei Flüſſigkeiten.** Wenn das Kupfer der Zinkkupferkette in einer concentrirten Löſung von Kupfervitriol, das Zink in verdünnter Schwefelſäure ſteht, während beide Flüſſigkeiten durch eine poröſe Scheidewand getrennt ſind, ſo iſt die nachtheilige Wirkung der Polariſation größtentheils aufgehoben; die elektromotoriſche Kraft wird größer als bei der gewöhnlichen Zinkkupferkette, die Stromſtärke wird conſtant.

Die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette iſt (S. 257):

$$E = 470.$$

Nach Svanberg's Verſuchen (P. A. LXXIII. 290.) ändert ſich die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette nur wenig mit der Natur der Flüſſigkeit. Während das Kupfer in einer concentrirten Löſung von Kupfervitriol ſtehen blieb, ergaben ſich für verſchiedene Flüſſigkeiten, in welche das Zink eingetaucht wurde, folgende Werthe für die elektromotoriſche Kraft des Elementes (in willkürlicher Einheit ausgedrückt).

Für concentrirte Löſung von Zinkvitriol . .	15,6
dieſelbe ſtark verdünnt	15,9
» concentrirte Löſung von Kupfervitriol . .	16,6
dieſelbe ſtark verdünnt	16,2
» ganz ſchwach geſäuertes Waſſer	16,0
» ſtärker geſäuertes Waſſer	16,7.

Für ein Quadratdecimeter mittlerer Metallfläche iſt (Seite 259) der Widerſtand des Elements

$R = 78$ (Säure = 1 Thl. Schwefelſäure + 10 Thl. Waſſer).

Durch Anwendung einer Säure, welche 1 Theil Schwefelſäure auf 5 Theile Waſſer enthält, würde man den Widerſtand für die Flächeneinheit auf $R = 30$ herabbringen können. Dieſe Widerſtände beziehen ſich auf die irdenen Zellen; für Stöhrer'ſche Zellen würden ſich die Widerſtände ungefähr auf $\frac{1}{3}$ verringern, alſo ſeyn

$R = 26$ (1 Schwefelſäure auf 10 Waſſer)

$R = 10$ (1 Schwefelſäure auf 5 Waſſer)

Die Daniell'ſche Kette iſt wohl unter allen die conſtanteſte, was zum Theil daher rühren mag, daß die Säure weniger ſchnell abgenutzt wird, indem die durch Zerſetzung des Kupfervitriols frei werdende Säure wenigſtens theilweiſe durch die poröſe Zelle zur Flüſſigkeit übergeht, in welcher das Zink ſteht.

Rhiner (Dingler's Journal, 110 Bd. Seite 418) ſchlägt vor,

das Zink durch Eiſen zu erſetzen, welches in einer Kochſalzlöſung ſteht. Was dieſe Combination für Vortheile gewähren ſoll, läßt ſich nicht recht einſehen. Jedenfalls iſt die elektromotoriſche Kraft derſelben geringer als die einer gewöhnlichen Daniell'ſchen Kette.

Ryhiner ſagt von ſeiner Kette: Sie übt zwar auf die Magnetnadel keine ſtarke Wirkung aus, beſitzt aber deſſen ungeachtet eine größere reducirende Kraft auf Metallöſungen als die gewöhnliche Zinkbatterie!?

Herr Ryhiner ſcheint alſo nicht zu wiſſen, daß die chemiſchen Wirkungen des Stromes den magnetiſchen ſtets propotional ſind.

Uebrigens macht Ryhiner einen Vorſchlag, die Thonzellen durch Leinwandzellen zu erſetzen, welcher wohl ganz praktiſch ſeyn kann. Hinſichtlich der Thonzellen befindet man ſich in der That oft in Verlegenheit. Solche, die man vom Hafner machen läßt, ſind ſchlecht; gute kann man nicht überall bekommen; was um ſo ſtörender iſt, da die beſſer leitenden Zellen ſehr zerbrechlich ſind. Ryhiner's Zellen werden in folgender Weiſe angefertigt:

Von dichtem leinenen etwas dickem croiſirten Zeuge macht man Säcke ohne Boden, welche über eine Blechrolle geſpannt werden; darauf wird mit Mehlkleiſter 3 bis 4fach ſtarkes Papier, und darauf ein Stück Zitz oder dünne Leinwand geklebt. Der Boden wird durch einen platten Holzcylinder gebildet, in deſſen Cylinderfläche eine Rinne eingedreht iſt, ſo daß man den auf die angegebene Weiſe behandelten Leinwandcylinder mit Bindfaden feſtbinden kann. Die Blechrolle wird nun wieder hineingeſtellt und mit heißem Sande erwärmt. Wenn alles gehörig trocken iſt, gießt man geſchmolzenes Wachs oder Colofonium ein, um die Fugen am Boden gehörig zu ſchließen. Der obere Rand wird mit Bernſteinfirniß getränkt.

Ob dieſe Zellen wirklich empfehlenswerth ſind, kann ich aus eigener Erfahrung nicht beurtheilen.

Die Grove'ſche Kette. Nach meinen Meſſungen, welche auf Seite 256 mitgetheilt wurden, die aber gerade für die Grove'ſche Kette keinen großen Anſpruch auf Genauigkeit machen, iſt die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Kette nach chemiſchem Maaß 118

829.

Andere Beobachter haben die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Säule nicht nach irgend einem abſoluten Maaße beſtimmt, ſondern nur mit der elektromotoriſchen Kraft der Daniell'ſchen Kette verglichen. Setzt man die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette gleich 1, ſo iſt die der Grove'ſchen:

Nach Jakobi	1,666
» Buff	1,712
» Poggendorff. .	1,668
» id. . .	1,565
Mittel . .	1,653.

Nehmen wir nach meinen Meſſungen die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette nach chemiſchem Maaß gleich 470, ſo wäre alſo nach derſelben Einheit die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Kette im Mittel

$$470 \cdot 1{,}653 = 777,$$

während ich den Werth für die elektromotoriſche Kraft dieſer Kette etwas höher, nämlich gleich 829, alſo ungefähr 6½ Procent größer gefunden habe.

Einen Vergleich des Leitungswiderſtandes der Grove'ſchen Kette mit dem der Daniell'ſchen findet ſich bei den oben genannten Beobachtern nicht. — Eine ſolche Vergleichung kann ſich übrigens auch nur auf ein beſtimmtes Exemplar beziehen, da ſie mit der Natur der Thonzellen ſich ändert, und von dem Concentrationsgrad der Flüſſigkeit abhängt.

Eine Vergleichung der Widerſtände beider Ketten hat nur dann einen Sinn, wenn man für beide Thonzellen von derſelben Maſſe und gleiche Flüſſigkeit für die Zinkzelle anwendet, während die Kupferzelle der Daniell'ſchen Kette concentrirte Kupfervitriollöſung enthält und die Platinplatte der Grove'ſchen in ſtarker Salpeterſäure ſteht. Eine ſolche Vergleichung habe ich für die Grove'ſche Kette nicht gemacht, wohl aber für die Zinkkohlenkette, deren Widerſtand man unter ſonſt gleichen Umſtänden wohl dem der Grove'ſchen gleichſetzen kann. Wir werden alſo bei der Zinkkohlenkette auf die Widerſtandsvergleichung zurückkommen.

Es iſt der Vorſchlag gemacht worden, die Salpeterſäure durch andere ſehr ſtark ſauerſtoffhaltige Körper, namentlich durch eine Löſung von saurem chromſauren Kali zu erſetzen. Für dieſe Flüſſigkeit fand Poggendorff die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Kette gleich

$$0{,}987,$$

wenn man die der Daniell'ſchen Kette gleich 1 ſetzt, alſo bedeutend geringer als für Salpeterſäure. Saures chromſaures Kali iſt alſo für die Grove'ſche Kette nicht zu empfehlen. —

Im 106ten Bande von Dingler's polytechniſchem Journal, Seite 154, wird mitgetheilt, daß an Grove'ſchen Ketten, die man bei elektriſchen Telegraphen anwandte, der Uebelſtand oft ſtörend auftritt, daß die Salpeterſäure durch die Thonzellen hindurchſickert, und das Zink ſo

stark angreift, daß man es täglich frisch amalgamiren muß. Krystalle von Glaubersalz in die verdünnte Schwefelsäure geworfen, sollen diesem Uebelstande abhelfen. Der Erfolg dieses Mittels sey höchst wahrscheinlich dadurch zu erklären, daß Glaubersalz zersetzt und salpetersaures Natron gebildet werde, wodurch aber die freie Salpetersäure wieder verschwindet.

Die Bunsen'sche Kette. Als Mittel aus allen meinen oben 119
Seite 256 mitgetheilten Versuchen ergiebt sich für die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette nach chemischem Maaße der Werth

824.

Die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette gleich 1 gesetzt, ist die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette:

nach Buff. 1,712,
nach Poggendorff. . 1,548.

In chemischem Maaße ausgedrückt, wäre also die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette:

nach Buff 805,

was mit meinem Mittel sehr nahe übereinstimmt,

nach Poggendorff . . 727,

welche Zahl wohl doch zu klein seyn dürfte. Jedenfalls ist die elektromotorische Kraft der Bunsen'schen und der Grove'schen Kette so nahe gleich, daß man bei praktischen Anwendungen von dem etwaigen Unterschied absehen darf.

Nach Poggendorff bleibt die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette fast dieselbe, wenn man die Salpetersäure durch eine Lösung von saurem chromsaurem Kali ersetzt, ja für letztere Flüssigkeit ist sie sogar noch etwas größer und zwar im Verhältniß von 1,589 zu 1,548.

Nach den auf Seite 259 gemachten Mittheilungen verhält sich bei gleicher mittlerer Oberfläche, gleichen Thonzellen und gleich stark verdünnter Schwefelsäure der Leitungswiderstand der Zinkkohlenkette zu dem der Daniell'schen wie

43 zu 78,

oder wie

1 zu 1,8.

Stöhrer in Leipzig hat in neuerer Zeit die Zinkkohlenkette bedeutend verbessert und im Gebrauch bequemer gemacht. Seine Kohlencylinder sind statt in Zuckerwasser in Steinkohlentheer getränkt und dann nochmals geglüht. Sie sind viel fester und haben eine ungleich glättere Oberfläche als die früheren, was den großen Vortheil hat, daß sie nicht so außerordentlich viel Salpetersäure einschlucken, wodurch die Anwendung der Zinkkohlenketten besonders unangenehm und kostspielig wurde.

Bei den früheren Zinkkohlenketten war der Kupfer- oder Zinkring,

welcher den oberen Rand des Kohlencylinders umfaßte, meiſt abnehmbar. Stöhrer hat ihn ein- für allemal befeſtigt. Um den Rand des Kohlencylinders wird zunächſt ein Streifen von Meſſingdrahtgewebe gelegt und auf dieſes dann der Kupferring möglichſt feſt aufgeſchraubt. Der ganze obere Theil wird alsdann mit Siegellacklöſung überſtrichen. An dem Kupferring befindet ſich ein ungefähr 1 Zoll langes Drahtſtück, welches zur Herſtellung der Verbindung mit dem nächſten Zinkcylinder geht. An den Zinkcylinder iſt eine Art Drahtſeil befeſtigt, welches mit Gutta-Percha überzogen iſt und mit einer Schraubklemme endigt, welche an den Kupferdraht des folgenden Kohlencylinders angeſchraubt werden kann.

120 **Zinkeiſenketten.** Von vielen Seiten iſt vorgeſchlagen worden, das Eiſen anſtatt des Platins oder Kupfers zur Conſtruction galvaniſcher Ketten anzuwenden. Roberts conſtruirte eine Zinkeiſenkette in folgender Weiſe. Ein gußeiſernes Gefäß von 10 Zoll Höhe und 3,9 Zoll Durchmeſſer diente zur Aufnahme einer Miſchung von 1 Theil concentrirter Schwefelſäure und 3 Theilen ſtarker Salpeterſäure; in dieſe Flüſſigkeit wurde dann eine mit verdünnter Schwefelſäure gefüllte Thonzelle geſtellt, die zur Aufnahme des 9,9 Zoll hohen und 3,3 Zoll weiten Zinkcylinders diente.

Fünf ſolcher Elemente lieferten in einer Minute in einem in den Schließungsbogen eingeſchalteten Voltameter 40 Kubikzoll Knallgas. Allerdings iſt dies eine ſehr bedeutende Wirkung. (Dingler's Journal, 84ſter Band, Seite 386.)

Im 84ſten Bande von Dingler's Journal, Seite 385, beſchreibt Schönbein eine Zinkeiſenſäule, welche ebenfalls ſehr bedeutende Wirkungen hervorbrachte.

Zum Sprengen von Felſen ſchlägt Roberts eine Zinkeiſenkette mit einer Flüſſigkeit vor. (Dingler's Journal, 87ſter Band, Seite 104; Mechanic Magazine, 1842.) 20 Eiſenplatten und 20 Zinkplatten, jede von 7 Quadratzoll Oberfläche, ſind, in gehöriger Weiſe verbunden, auf einem Geſtell von Latten angebracht, welches man in einen Trog ſenken kann, welcher eine Miſchung von 1 Theil Schwefelſäure auf 10 Theile Waſſer enthält.

Callan conſtruirte eine Zinkeiſenkette (Dingler's Journal, 109ter Band, Seite 432. Phil. Mag., Juli 1848, Seite 49.) von ähnlicher Form, wie die war, welche Grove urſprünglich ſeiner Zinkplatinkette gegeben hatte; alſo mit rectangulären, glatten Thonzellen. Die Zellen waren $4\frac{1}{2}$ Zoll lang und $4\frac{1}{2}$ Zoll hoch.

Durch den Schlag einer aus 620 ſolchen Elementen zuſammengeſetzten Säule wurde ein Truthahn augenblicklich getödtet. — Sein Kropf war geborſten.

Callan sagt, diese Batterie wirke 15mal stärker als eine gleich große Wollaston'sche und 1½mal so stark als eine gleich große Grove'sche. Diese Schätzung scheint höchst oberflächlich zu seyn; es sind durchaus keine Thatsachen, keine Messungen angegeben, aus denen man auch nur annähernd die Constanten dieser Ketten berechnen könnte, ohne deren Kenntniß eine richtige Würdigung einer galvanischen Combination nicht möglich ist.

Maaßbestimmungen für die Zinkeisenkette finden sich im 81sten Bande von Dingler's Journal, Seite 273.

Poggendorff fand für die elektromotorische Kraft verschiedener Combinationen folgende Werthe:

Zink-Platin . . .	100
Zink-Eisen . . .	78,6
Zink-Stahl . . .	87,0
Zink-Gußeisen . .	89,6,

wenn Zink in verdünnter Schwefelsäure, Platin, Eisen u. s. w. in concentrirter Salpetersäure steht. Die Leitungswiderstände sind bei allen diesen Combinationen ziemlich gleich.

Die Eisen-Eisenketten. Daß man das Platin der Grove'schen 121
Ketten mit Erfolg durch Eisen ersetzen kann, hängt ohne Zweifel damit zusammen, daß Eisen, in concentrirte Salpetersäure getaucht, passiv wird und sich in diesem Zustande wie ein sehr elektronegatives Metall verhält. — Wöhler und Weber kamen dadurch auf den Gedanken, daß sich Eisen, welches in concentrirter Salpetersäure steht, zu Eisen, welches in verdünnter Schwefelsäure getaucht ist, ähnlich verhält wie Platin zum Zink. Der Erfolg bestätigte diese Erwartung vollständig; sie construirten auf diese Weise eine sehr kräftige Säule.

Es ergab sich als sehr vortheilhaft, für das in verdünnte Schwefelsäure eingetauchte Eisen gewöhnliches Weißblech zu nehmen.

Auch Schönbein wurde durch seine Untersuchungen über Passivität des Eisens auf die Construction einer Kette aus passivem und activem Eisen geleitet. (Dingler's Journal, 84ster Band, Seite 385.)

Die zweckmäßigste Form der Eisensäule ist wohl folgende. Ein gußeisernes Gefäß nimmt die Salpetersäure und die Thonzelle auf, in welcher sich dann die verdünnte Schwefelsäure mit dem activen Eisen befindet.

Der Anwendung der Eisensäule steht das starke Rosten desjenigen Theils der Eisengefäße, welcher aus der Flüssigkeit vorragt, hindernd entgegen.

Callan's Zinkbleikette. Im Philosop. Magaz. für 1847 (Ser. 122
III. Vol XXXI. pag. 81.) beschreibt Callan eine neue Volta'sche Combination, von welcher Poggendorff im LXXII. Bande seiner Annalen, pag. 495, Bericht erstattet. Das Platin der Grove'schen Kette ist hier

durch platinirtes Blei erſetzt; dieſes ſteht in einem Gemiſch von 4 Theilen concentrirter Schwefelſäure, 2 Theilen Salpeterſäure und 2 Theilen geſättigter Salpeterlöſung. Das Zink ſteht in verdünnter Schwefelſäure, welche natürlich durch eine Thonzelle von der andern Flüſſigkeit getrennt iſt.

Die Wirkung dieſer Kette ſoll nach Callan's Angaben der einer Grove'ſchen nicht nachſtehen.

Poggendorff fand in der That die elektromotoriſche Kraft dieſer Combination gleich der der Grove'ſchen Kette; auch zeigte der Strom der Zinkbleikette mehrere Stunden lang dieſelbe Beſtändigkeit, wie der Strom der Zinkplatinkette; dagegen ergab ſich kein Vortheil von dem Zuſatz der Salpeterlöſung zur Salpeterſäure; der Zuſatz der concentrirten Schwefelſäure aber hat außer dem Vortheil, das Blei vor dem Angriff der Salpeterſäure zu ſchützen (was der Platinüberzug als lockeres Pulver nicht vermag), noch den ſehr ſchätzbaren, daß er die Anwendung einer verdünnten Salpeterſäure geſtattet.

Streng genommen iſt dieſe Kette ebenfalls eine Zinkplatinkette, indem das Blei eigentlich nur der Träger der dünnen Platinſchicht iſt, ſo daß Zink und Platin die Endglieder des in die Flüſſigkeit eingetauchten Metallbogens ſind.

123 **Zweckmäßigſte Combination einer gegebenen Anzahl Volta'ſcher Elemente, um bei gegebenem Schließungsbogen die größte Wirkung zu erhalten.** Theoretiſch iſt der in der Ueberſchrift bezeichnete Gegenſtand zwar ſchon lange erledigt, die Beweiſe ſind aber meiſt nur mit Hülfe höherer Rechnung geführt, und die ganze Form der Darſtellung ſo gehalten, daß die praktiſche Anwendung des Satzes immer mehr angedeutet als durchgeführt iſt; eine etwas ausführlichere Beſprechung dürfte deshalb wohl am Platze ſeyn.

Gewöhnlich wird die Frage ſo aufgeſtellt: Wie hat man über eine gegebene Metalloberfläche, die zur Conſtruction Volta'ſcher Elemente benutzt werden ſoll, zu disponiren (d. h. wie viel Elemente und wie groß ſoll man ſie machen), damit bei gegebenem Schließungsbogen ein Maximum von Wirkung erhalten wird?

Dieſe Form der Frage entſpricht nicht ganz den in der Praxis vorkommenden Fällen. Man iſt meiſtens nicht in dem Falle, die Volta'ſche Batterie für einen beſtimmten Schließungsbogen zu conſtruiren, ſondern es handelt ſich darum, wie man eine disponible Anzahl von galvaniſchen Elementen combinire, um ein Maximum des Effectes zu erhalten?

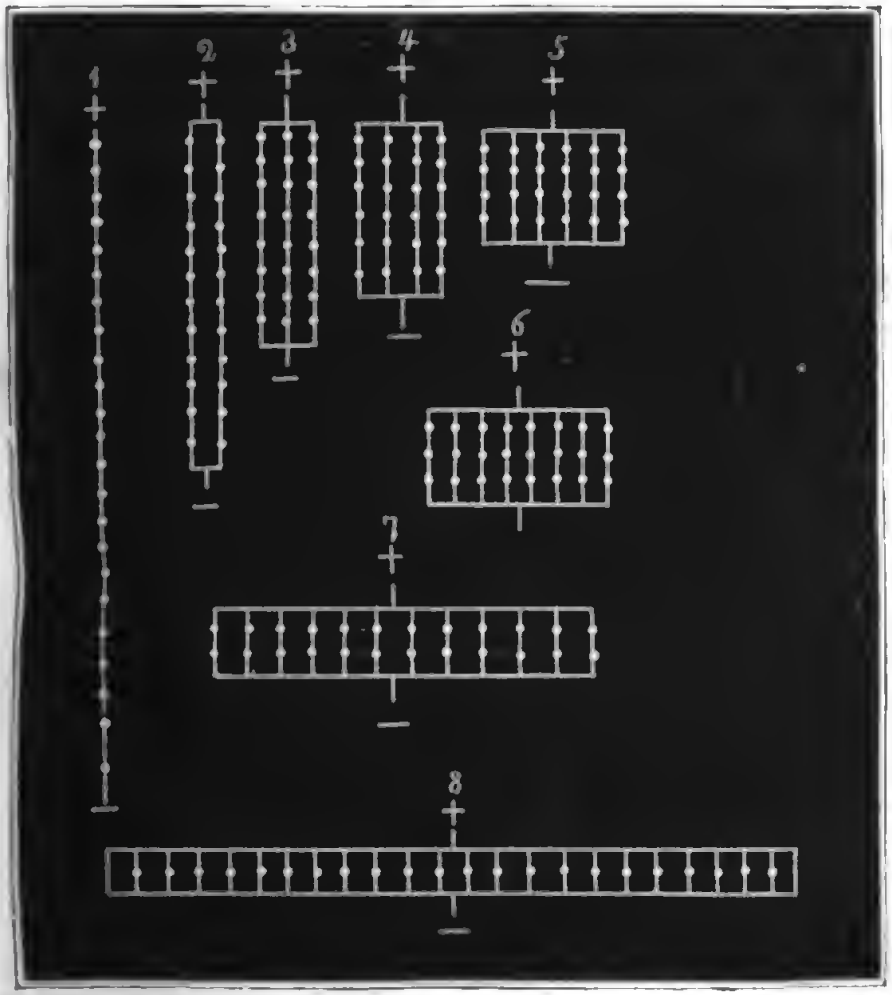
Ein Maximum der Stromſtärke erhält man von einer gegebenen Anzahl von Elementen, wenn man ſie ſo ordnet,

daß der Widerſtand in der Kette dem Widerſtande im Schließungsbogen gleich iſt.

Ich will den Satz zuerſt erläutern, dann beweiſen.

Eine gegebene Anzahl von Elementen läßt ſich auf die mannigfachſte Weiſe combiniren. Z. B. 24 Elemente kann man, wie dies in Fig. 100 anſchaulich gemacht wird, auf 8 verſchiedene Arten ordnen:

Fig. 100.



1) Zu einer Säule von 24 einzelnen Elementen,
2) » » » » 12 doppelten »
3) » » » » 8 dreifachen »
4) » » » » 6 vierfachen »
5) » » » » 4 ſechsfachen »
6) » » » » 3 achtfachen »
7) » » » » 2 zwölffachen »
8) » » » » 1 vierundzwanzigfachen Elemente.

Welche von dieſen Combinationen in einen beſtimmten Fall zu wählen ſey, hängt vom Leitungswiderſtande des Schließungsbogens ab. Man hat diejenige Combination zu nehmen, deren Widerſtand dem des gegebenen Schließungsbogens am nächſten ſteht. Bezeichnen wir mit 1 den Widerſtand eines Elementes, ſo iſt der Widerſtand

für die	1.	Combination . .	24,
» »	2.	» . .	6,
» »	3.	» . .	2,666,
» »	4.	» . .	1,5,
» »	5.	» . .	0,666,
» »	6.	» . .	0,375,
» »	7.	» . .	0,166,
» »	8.	» . .	0,0416.

Iſt der Widerſtand des gegebenen Schließungsbogens kleiner als 0,1 von dem Widerſtande eines Elementes, ſo hat man die letzte Combination zu wählen, die erſte aber, wenn der Leitungswiderſtand des Schließungsbogens größer iſt als der von 15 Elementen. Liegt der zu überwindende Widerſtand zwiſchen 15 und 4,3 — zwiſchen 4,3 und 2 — zwiſchen 2 und 1,08 u. ſ. w., ſo hat man die 2te, 3te, 4te u. ſ. w. Combination zu wählen

Der eben erläuterte Satz muß nun noch bewieſen werden.

Betrachten wir die verſchiedenen Combinationen von 24 Elementen, wie ſie in Fig. 101 dargeſtellt ſind, ſo überſieht man leicht, daß, wenn man die Säule verkürzt, ſie in demſelben Verhältniß breiter wird, d. h. wenn man weniger Elemente hinter einander ſetzt, ſo kann man bei Anwendung der gleichen Elementenzahl in demſelben Verhältniß mehr Elemente neben einander ſetzen.

Gehen wir von der zweiten Combination aus. Wir haben hier 12 Doppelelemente. Reduciren wir die Länge der Säule auf die Hälfte, alſo auf 6, ſo können wir die Breite jedes Elementes verdoppeln, wir haben jetzt 6 vierfache Elemente.

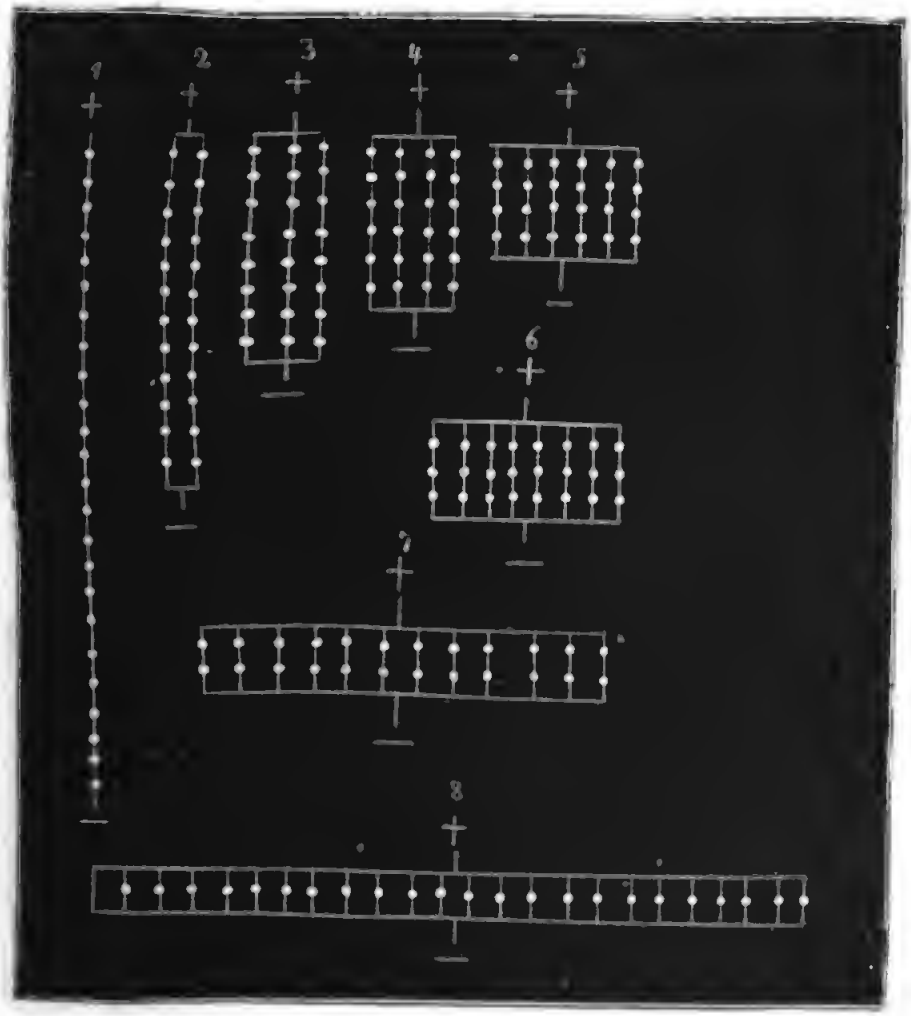
Macht man die Säule 3mal kürzer, ſo kann man 3mal ſoviel einzelne Elemente zu einem vereinigen; aus 12 zweifachen Elementen erhält man 4 ſechsfache. Kurz, wenn man die Säule $a$mal kürzer macht, ſo kann man $a$mal ſoviel Einzelelemente zu einem vereinigen.

Wenn die Zahl der hinter einander zur Säule vereinigten Elemente $a$mal kleiner wird, ſo wird die elektromotoriſche Kraft dadurch $a$mal kleiner; hätte man nun die Kette bloß $a$mal kürzer gemacht, ohne ihre Breite zunehmen zu laſſen, ſo würde auch der Leitungswiderſtand $a$mal kleiner geworden ſeyn; wenn aber jedes Element der einen Säule aus $a$mal ſo

vielen Einzelelementen beſteht als früher, ſo wird nun der Widerſtand in der That a^2mal kleiner als vorher.

So iſt der Leitungswiderſtand für 6 vierfache Elemente (Combination Nr. 4) 4mal kleiner als für 12 Doppelelementen (Combination 2), er iſt für 4 ſechsfache Elemente (Combination 5) 9mal kleiner als für 12 doppelte u. ſ. w.

Fig 101.



Nach dieſer Auseinanderſetzung iſt nun der fragliche Beweis leicht zu führen. Es ſey für irgend eine Combination mehrerer Elemente die elektromotoriſche Kraft E der weſentliche Leitungswiderſtand l. Wird dieſe Säule durch einen Schließungsbogen geſchloſſen, deſſen Widerſtand ebenfalls l iſt, ſo iſt nach dem Ohm'ſchen Geſetze die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{l+l} = \frac{E}{2l} \quad \ldots\ldots 1)$$

Wird nun die Säule $a$mal kürzer, die einzelnen Elemente aber $a$mal breiter gemacht, ſo wird die elektromotoriſche Kraft $a$mal kleiner, ſie wird $\frac{E}{a}$; der Leitungswiderſtand der Kette wird aber $\frac{l}{a^2}$, die Stromſtärke wird alſo jetzt bei gleichem Schließungsbogen

$$S' = \frac{\frac{E}{a}}{\frac{l}{a^2} + l} = \frac{E}{l\left(a + \frac{1}{a}\right)} \quad \ldots\ldots 2)$$

Die Summe $a + \frac{1}{a}$ iſt nun aber unter allen Umſtänden größer als 2 *), was für einen ganzen oder gebrochenen Zahlenwerth man auch für a ſetzen mag; es iſt alſo auch der Werth des Bruches 2) unter allen Umſtänden kleiner als der des Bruches 1). Da nun 1) den Werth der Stromſtärke für den Fall bezeichnet, daß der Widerſtand im Elektromotor

---

*) Daß die Summe $a + \frac{1}{a}$ wirklich ſtets größer iſt als 2, davon kann man ſich leicht überzeugen, wenn man für a der Reihe nach 1, 2, 3, 4 u. ſ. w. oder $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. ſ. w. ſetzt; man kann dieſen Satz aber auch leicht beweiſen. Setzen wir der größeren Allgemeinheit wegen $a = \frac{r}{s}$, ſo iſt

$$a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} + \frac{s}{r},$$

wo r ſowohl als s jede beliebige ganze und poſitive Zahl bedeuten kann. Es ſey nun $s > r$, und zwar $s = r + t$, ſo haben wir

$$\begin{aligned}
\frac{r}{s} + \frac{s}{r} = \frac{r}{r+t} + \frac{r+t}{r} &= \frac{r}{r+t} + \frac{t}{r} + 1 \\
&= 1 + \frac{r^2 + rt + t^2}{r(r+t)} \\
&= 1 + \frac{(r+t)^2 - rt}{r(r+t)} \\
&= 1 + \frac{r+t}{r} - \frac{t}{r+t} \\
&= 1 + 1 + \frac{t}{r} - \frac{t}{r+t} \\
&= 2 + t\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r+t}\right)
\end{aligned}$$

da nun $r + t$ jedenfalls größer iſt als r, ſo iſt der in den letzten Klammern ſtehende Ausdruck poſitiv, mithin auch $\frac{r}{s} + \frac{s}{r}$ größer als 2. Da aber $\frac{r}{s} + \frac{s}{r}$ nur eine veränderte Form für den Ausdruck $a + \frac{1}{a}$ iſt, ſo iſt alſo auch $a + \frac{1}{a} > 2$.

dem Widerſtand des Schließungsbogens gleich iſt, der Bruch 2) aber den Werth der Stromſtärke für den Fall, daß dieſelbe Anzahl von Einzelelementen auf irgend eine andere Weiſe combinirt iſt, ſo iſt hiermit der fragliche Satz bewieſen.

Die Anwendung dieſes Satzes mag durch ein Beiſpiel erläutert werden. — Man will zur Magnetiſirung eines Elektromagneten den Strom von 24 Zinkkohlen-Elementen anwenden; der Widerſtand eines Elementes, mit ſchwacher Säure geladen, iſt 15,05 (Seite 258). Der Widerſtand der Windungen des Elektromagneten aber ergab ſich gleich dem von 13,54 Meter Normaldraht, der Widerſtand des Schließungsbogens iſt alſo 0,9 von dem eines einzelnen Elementes. Ein Blick auf die Zuſammenſtellung Seite 289 ſagt uns, daß wir die fünfte Combination als die vortheilhafteſte wählen müſſen, weil ihr Widerſtand 0,66 dem des Schließungsbogens näher iſt, als der der anderen Combinationen. Setzen wir der Kürze halber die elektromotoriſche Kraft des Elementes gleich 1, den Widerſtand derſelben ebenfalls gleich 1, ſo ergeben ſich, wenn man der Reihe nach alle 8 Combinationen als Elektromotoren für den eben beſprochenen Elektromagneten anwenden wollte, für die Stromſtärke folgende Werthe:

$$1 \ldots\ldots \frac{24}{24 + 0{,}9} = 0{,}963$$

$$2 \ldots\ldots \frac{12}{6 + 0{,}9} = 1{,}74$$

$$3 \ldots\ldots \frac{8}{2{,}666 + 0{,}9} = 2{,}24$$

$$4 \ldots\ldots \frac{6}{1{,}5 + 0{,}9} = 2{,}5$$

$$5 \ldots\ldots \frac{4}{0{,}666 + 0{,}9} = \mathbf{2{,}54}$$

$$6 \ldots\ldots \frac{3}{0{,}375 + 0{,}9} = 2{,}36$$

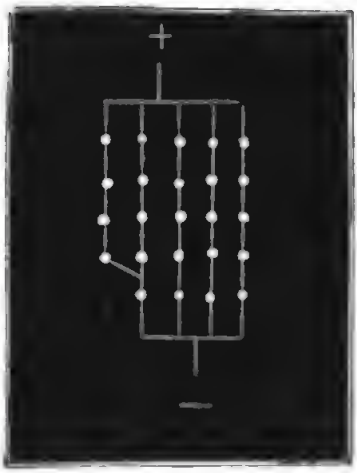
$$7 \ldots\ldots \frac{2}{0{,}166 + 0{,}9} = 1{,}85$$

$$8 \ldots\ldots \frac{1}{0{,}042 + 0{,}9} = 1{,}61.$$

Man ſieht hier, daß für die Combination 5 die Stromſtärke, und alſo auch, da ja die Drahtwindungen der Elektromagnete ungeändert bleiben, der Magnetismus des weichen Eiſens größer ſeyn wird als bei den übrigen Combinationen. Die Combination 4 kommt in ihrer Wirkung der Combination 5 ſehr nah, das eigentliche Maximum läßt ſich alſo zwiſchen 4

und 5 erwarten. In der That giebt die in Fig. 102 dargeſtellte Combination die Stromſtärke 2,56.

Fig. 102.



Ladet man dieſelben Elemente mit ſtärkerer Säure, ſo wird der Widerſtand des Elementes 5,85; der Widerſtand des Schließungsbogens iſt 2,3mal ſo groß als der eines Elementes, und für dieſen Fall wäre die dritte Combination (8 dreifach Elemente) die vortheilhafteſte.

Die vortheilhafteſte Combination für einen gegebenen Waſſerzerſetzungsapparat werden wir weiter unten betrachten.

Hat man einmal eine gegebene Anzahl von Elementen ſo combinirt, daß ſie in einem gegebenen Schließungsbogen ein Maximum von Stromſtärke geben, ſo wird eine Vermehrung der Elemente die Stromſtärke im günſtigſten Falle nur im Verhältniß der Quadratwurzel aus der Elementenzahl vergrößern; man muß alſo 4mal, 9mal, 16mal ſo viel Elemente anwenden, um die 2fache, 3fache, 4fache Wirkung zu erhalten.

Suchen wir dies erſt an einem ſpeciellen Fall nachzuweiſen. Es ſey der Widerſtand des Schließungsbogens gleich r, gleich dem Widerſtande eines Elementes, deſſen elektromotoriſche Kraft mit E bezeichnet werden ſoll, ſo iſt die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{r + r} = \frac{E}{2r}.$$

Die Stromſtärke ſoll nun durch Vermehrung der Elementenzahl verdoppelt werden. Soll die neue Combination ein Maximum von Effect geben, ſo muß der Widerſtand in der Kette ſo groß bleiben als der Widerſtand des Schließungsbogens, der Widerſtand der neuen Combination darf alſo nicht größer werden als der eines einzigen Elementes; wir werden alſo die doppelte Stromſtärke erhalten, wenn wir bei unverändertem Widerſtande die elektromotoriſche Kraft verdoppeln. Die elektromotoriſche Kraft wird verdoppelt dadurch, daß 2 Elemente hinter einander geſetzt werden; wir müſſen aber 2 Doppelelemente nehmen, wenn ihr Widerſtand eben ſo groß ſeyn ſoll wie der eines einzelnen Elementes; die Combination Fig. 102 wird alſo eine 2mal, die Combination Fig. 103 wird eine 3mal ſo große Stromſtärke geben als ein einzelnes Element.

Fig. 103.

Betrachten wir die Sache etwas allgemeiner, a Becher ſeyen ſo combinirt, daß der Widerſtand der Kette dem Widerſtande des Schließungsbogens gleich iſt, daß alſo das Maximum der Wirkung erreicht wird, welches die a Becher in dem gegebenen Schließungsbogen hervorbringen können. Stellt man 2mal, 3mal, ... $n$mal ſo viel Becher neben einander, ſo daß jedes Element der Säule alſo gleichſam eine 2mal, 3mal, ... $n$mal größere Oberfläche erhält; macht man aber gleichzeitig die Säule auch 2, 3, ... $n$mal ſo lang, indem man auch 2, 3 ... $n$mal ſo viel Elemente hinter einander ſtellt; ſo hat man in allen 4mal, 9mal .... n^2mal ſo viel Becher verwandt. Der Widerſtand der Kette bleibt dabei unverändert, die Stromſtärke wächſt alſo in demſelben Verhältniß, in welchem die elektromotoriſche Kraft, in welchem die Zahl der hinter einander ſtehenden Elemente zunimmt, ſie iſt alſo 2, 3, ... $n$mal größer geworden. Mit 4 a, 9 a ... n^2 a Becher können wir alſo im günſtigen Fall eine 2mal, 3mal, $n$mal größere Stromſtärke erhalten, als die iſt, welche man mit a Elementen erzielen kann.

Zweckmäßigſte Einrichtung des Schließungsbogens, um mit einem gegebenen Elektromotor ein Maximum von Wirkung zu erhalten. 124 In anderen Fällen iſt der Elektromotor gegeben, und man fragt, wie muß man die Drahtwindungen wählen, um ein Maximum von Wirkung zu erhalten; ſoll man aus derſelben Quantität Kupfer viele Windungen eines dünnen und langen Drahtes, oder weniger Windungen mit kürzerem und dickerem Drahte machen. Bei Multiplicatoren iſt die Quantität des Kupferdrahtes, welche man anzuwenden hat, begränzt durch die Größe des Raumes, welchen man zweckmäßiger Weiſe mit Drahtwindungen ausfüllen kann; bei Elektromagneten iſt die Quantität des Kupferdrahtes durch die Geldſumme bedingt, welche man zu ſeiner Conſtruction verwenden will.

Nehmen wir an, der Widerſtand eines Kupferdrahtes von einer beſtimmten Länge und Dicke, welche n Windungen giebt, ſey gleich l, gleich dem weſentlichen Widerſtande des Elektromotors, ſo iſt die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{l + l} = \frac{E}{2\,l},$$

und dieſe Stromſtärke wirkt in n Windungen auf die Maguetnadel oder das weiche Eiſen, wir können dieſe Wirkung ſo bezeichnen mit

$$M = n \cdot \frac{E}{2\,l} \quad \ldots\ldots 1)$$

Macht man den Draht bei unveränderter Maſſe $m$mal ſo lang, ſo wird ſein Querſchnitt $m$mal kleiner, und alſo der Widerſtand m^2mal größer, die Stromſtärke iſt alſo jetzt

$$S' = \frac{E}{l + m^2\,l} = \frac{E}{l\,(1 + m^2)},$$

aus dieſer Drahtlänge kann man aber $m$mal ſo viel Windungen machen als vorher, die magnetiſche Wirkung iſt alſo jetzt

$$M' = m \,.\, n \cdot \frac{E}{l\,(m^2 + 1)} = n \frac{E}{l\left(m + \frac{1}{m}\right)} \quad \ldots\ldots 2)$$

Der Werth von M iſt aber, wie ſchon oben bewieſen wurde, ſtets größer als der Werth von M' in Gleichung 1). Mit einer gegebenen Drahtmaſſe erreicht man alſo ein Maximum magnetiſcher Wirkung, wenn man dem Draht eine ſolche Dicke und Länge giebt, daß der Widerſtand in den Windungen dem Widerſtande des Elementes gleich iſt.

Man will z. B. 8 Pfund Kupferdraht zur Conſtruction eines Elektromagneten verwenden, zu deſſen Erregung man eines der oben Seite 256 beſprochenen Daniell'ſchen Elemente zu benutzen gedenkt; wie dick muß man den Draht machen?

Der Widerſtand jenes Elementes iſt gleich dem Widerſtande von 11,1 Meter Normaldraht. Der Normaldraht hat einen Querſchnitt von 0,785 Quadratmillimeter oder 0,00785 Quadratcentimeter; eine Länge von 11,1 Metern oder 1110 Centimetern hat alſo einen Körperinhalt von 8,71 Kubikcentimetern. Das ſpecifiſche Gewicht des zu Draht gezogenen Kupfers iſt 8,88; mithin beträgt das Gewicht des Normaldrahtes, welcher gleichen Leitungswiderſtand wie das Element hat, $8{,}71 \times 8{,}88 = 77{,}34$ Grm.

Die Drahtmaſſe, über welche man zu disponiren hat, wiegt aber nicht 77,34 Gramm, ſondern ſie wiegt 8 Pfund oder 4000 Grm., wir haben alſo eine $\frac{4000}{77{,}34} = 51{,}7$ mal ſo große Drahtmaſſe als die des Normaldrahtes, welcher die Bedingung erfüllt.

Wenn man ſtatt eines Drahtes von beſtimmtem Durchmeſſer und beſtimmter Länge einen Draht von 3fachem Durchmeſſer nimmt, ſo iſt ſein Querſchnitt $3 \,.\, 3 = 9$mal größer, man muß alſo auch dem Draht eine 9fache Länge geben, wenn der Leitungswiderſtand unverändert bleiben ſoll; das Volumen des Drahtes iſt jetzt $81 = 3^4$mal ſo groß als es vorher war. Ein $n$mal ſo dicker Draht muß von n^2mal ſo großer Länge, alſo von n^4mal ſo großer Maſſe genommen werden, wenn ſein Leitungswiderſtand unverändert bleiben ſoll.

Bei $p$facher Maſſe muß man alſo dem Draht eine $\sqrt{p}$fache Länge und einen $\sqrt[4]{p}$fachen Durchmeſſer geben, wenn der Leitungswiderſtand unverändert bleiben ſoll.

Die Kupfermaſſe, über welche wir zu disponiren haben, iſt 51,7mal ſo

groß als die eines Normaldrahtes, welcher denſelben Leitungswiderſtand ausübt wie das Element, wir müſſen alſo aus dieſer Kupfermaſſe einen Draht machen, welcher $\sqrt{51,7} = 7,18$ mal ſo lang und $\sqrt[4]{51,7} = 2,68$ mal ſo dick iſt als der 11,1 Meter lange Normaldraht. Wenn alſo die 8 Pfund Kupferdraht als Draht denſelben Leitungswiderſtand ausüben ſollen, wie das Daniell'ſche Element, ſo muß man den Draht 2,68 Millimeter dick wählen, wobei er eine Länge von $7,18 \times 11,1 = 79,7$ Meter hat.

Hätte man den Elektromagneten für ein Stöhrer'ſches Element einrichten wollen, deſſen weſentlicher Widerſtand gleich dem von 6,2 Metern Normaldraht iſt, ſo hätte ſich aus ähnlichen Betrachtungen ergeben, daß man die 8 Pfund von einem 3,1 Millimeter dicken Draht hätte nehmen müſſen; die Länge deſſelben ergiebt ſich gleich 60 Metern.

Wendet man den für die Daniell'ſche Kette conſtruirten Elektromagneten und dieſe Kette an, ſo iſt die Stromſtärke

$$\frac{E}{11,1 + 11,1} = \frac{E}{22,2}.$$

Iſt der Draht in n Windungen um das Eiſen gefügt, ſo können wir den magnetiſchen Effect mit

$$M = n \cdot \frac{E}{22,2}$$

bezeichnen. Hätte man den Draht doppelt ſo lang, alſo von halbem Querſchnitt gewählt, ſo wäre ſein Widerſtand 4mal größer, alſo 44,4, und die Stromſtärke $\frac{E}{11,1 + 44,4} = \frac{E}{55,5}$ geworden; dieſe Stromſtärke wird aber in $2n$ Windungen um das Eiſen geführt, alſo wäre jetzt der magnetiſche Effect

$$M' = 2n \frac{E}{55,5} = n \frac{E}{27,7}.$$

Hätte man einen halb ſo langen Draht von doppeltem Querſchnitt genommen, ſo hätte man den magnetiſchen Effect

$$M'' = \tfrac{1}{2} n \frac{E}{13,9} = n \frac{E}{27,8}$$

erhalten. Man ſieht, daß in der That die Werthe von M' und M'' kleiner ſind als der von M.

Nach dieſen Principien läßt ſich auch ermitteln, wie man zu einer gegebenen thermoelektriſchen Säule einen möglichſt empfindlichen Multiplicator zu conſtruiren habe, eine Frage, welche auf theoretiſchem Wege freilich ſchon lange gelöſt iſt; bis jetzt aber hat man es immer noch verſäumt, dieſer Löſung eine für die praktiſche Anwendung leicht zugängliche Form

zu geben. Wir wollen uns deshalb bei dieſem Gegenſtand noch etwas verweilen.

So beſitzt z. B. unſer phyſikaliſches Cabinet eine thermoelektriſche Säule mit dazu gehörigem Galvanometer. Ich fand den

Widerſtand der Thermoſäule = 18,34 Meter Normaldraht
» des Multiplicatordrahts 1,75 » » »

Der Widerſtand des Multiplicatordrahtes iſt alſo über 10mal geringer als der Widerſtand der Thermoſäule.

Bezeichnen wir die elektromotoriſche Kraft der Thermoſäule mit E, ſo iſt die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{18{,}34 + 1{,}75} = \frac{E}{20'}$$

dieſe Stromſtärke wird in n Windungen um die Nadel geführt, der magnetiſche Effect iſt alſo

$$M = n\,\frac{E}{20}.$$

Hätte man nun dieſelbe Drahtmaſſe zur dreifachen Länge ausgezogen, ſo wäre ihr Widerſtand 9mal größer, er wäre $9 \times 1{,}75 = 15{,}75 =$ alſo in der That nahe gleich dem der Thermoſäule geworden. Nun wäre die Stromſtärke.

$$S' = \frac{E}{18{,}3 + 17{,}75} = \frac{E}{36}$$

und die magnetiſche Wirkung

$$M' = 3n\,\frac{E}{36} = n\,\frac{E}{12}$$

geworden, weil wir ja jetzt den Strom in $3\,n$ Windungen um den Draht führen. Der Werth M' iſt in der That nahe doppelt ſo groß als M.

Bei gleicher Quantität Kupferdraht könnte alſo der Multiplicator für die beſagte Thermoſäule doppelt ſo empfindlich gemacht werden, wenn man den Draht zu dreifacher Länge auszöge, ſo daß er dreimal ſoviel Windungen von dreimal geringerem Querſchnitt gäbe.

Daß man den Draht zu dieſem Multiplicator zu kurz und zu dick genommen hat, rührt ohne Zweifel daher, daß man von der Vorausſetzung ausging, der Leitungswiderſtand der Thermoſäule, welche aus lauter Metallen beſteht, könne nicht groß ſeyn, man dürfe alſo nur einen etwas dicken nicht zu langen Draht wählen. — Man ſieht, daß man in ſolchen Dingen mit ungefähren Schätzungen nicht ausreicht.

125 **Vergleichung der Wirkung verſchiedener Ketten in gegebenen Fällen.** Nach den oben mitgetheilten Conſtanten verſchiedener Ketten kann man für jeden gegebenen Fall die Stromſtärke berechnen. Wenn der Widerſtand des Schließungsbogens l iſt, ſo iſt für eine Zinkkohlenkette,

wenn ihre mittlere Oberfläche gleich 1 Quadratdecimeter iſt, bei Anwendung Stöhrer'ſcher Zellen und Schwefelſäure auf Waſſer, die Stromſtärke

$$S = \frac{824}{12 + l}.$$

Für ein gleichgroßes Daniell'ſches Element würde bei gleich ſtark verdünnter Schwefelſäure die Stromſtärke

$$\frac{470}{12 . 1{,}8 + l} = \frac{470}{21{,}6 + l}$$

ſeyn. Iſt l ſehr klein gegen den weſentlichen Widerſtand der Elemente, ſo verhalten ſich die Stromſtärken wie $\frac{824}{12}$ zu $\frac{470}{21{,}6}$ oder wie 68,6 zu 21,8; die Stromſtärke iſt alſo über 3mal ſo groß für die Zinkkohlenkette. Bei ſehr guter Schließung wird alſo ein Zinkkohlenelement ſo viel leiſten als ein Daniell'ſches von 3mal ſo großer mittlerer Oberfläche.

Für einen ſehr großen Widerſtand ſtellt ſich das Verhältniß anders heraus, es verhalten ſich dann die Stromſtärken wie die elektromotoriſchen Kräfte, alſo wie 470 zu 824; in dieſem Falle würde man durch Vergrößerung der Oberfläche des Zinkkupferelementes nicht viel gewinnen, man müßte zwei Daniell'ſche Elemente hintereinander ſtellen, um dieſelbe Wirkung zu erhalten, wie mit einem Zinkkohlenelement.

Den Effect einer Zinkkohlenſäule kann man alſo in allen Fällen mit einer Daniell'ſchen auch erreichen, wenn die einzelnen Elemente die dreifache Oberfläche haben und man ihrer doppelt ſo viel anwendet, als man Zinkkohlenelemente nöthig hatte.

Was von der Zinkkohlenkette geſagt wurde, gilt auch von der Grove'ſchen, da die Conſtanten beider faſt gleich ſind.

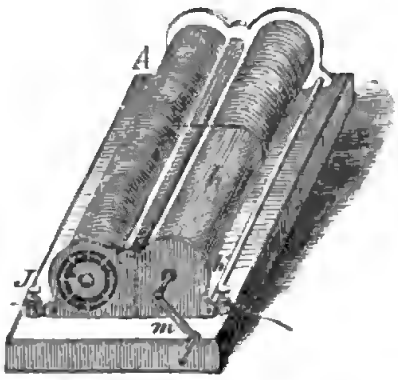
Als Schluß dieſes Abſchnitts folgt hier noch die Beſchreibung einiger Inſtrumente, welche bei den bisher beſprochenen Verſuchen in Meſſungen in Anwendung kommen.

Rheoſtate. Um den Leitungswiderſtand im Schließungsbogen eines 126
Rheomotors innerhalb der erforderlichen Gränzen allmälig verändern zu können, ohne die Kette öffnen zu müſſen, ſind mehrere Inſtrumente vorgeſchlagen worden, namentlich von Jakobi und Wheatſtone. Jakobi nennt ſein Inſtrument Agometer. Die Beſchreibung deſſelben iſt in Poggendorff's Annalen, Bd. LIV. 340, LIX. 145, zu finden. Ein Inſtrument dieſer Art iſt ohne Zweifel ſehr koſtſpielig, weshalb es wohl keine weite Verbreitung finden dürfte, um ſo mehr, da Wheatſtone's zu gleichem Zweck conſtruirte Inſtrumente, bei gleicher Zweckdienlichkeit, ungleich einfacher und bequemer zu handhaben ſind.

In meinem Lehrbuch der Phyſik (3te Aufl. 2ter Bd. Seite 193) habe ich bereits einen Wheatſtone'ſchen Rheoſtaten mit dickem Drahte beſchrieben, welcher anzuwenden iſt, wenn der Widerſtand des Schließungsbogens überhaupt nicht ſehr bedeutend iſt. Wenn der Geſammtwiderſtand in der Kette aber ſehr groß iſt, ſo würde man ſehr große Längen dieſes dicken Drahtes ab- oder aufwickeln müſſen, um eine merkliche Veränderung der Stromſtärke zu erzielen; in ſolchem Falle muß man alſo einen Rheoſtaten mit dünnem Draht anwenden, welcher der Natur der Sache nach eine andere Conſtruction haben muß.

Wheatſtone's Rheoſtat mit dünnem Draht (Poggend. Annalen, LXII., 499) iſt Fig. 104 dargeſtellt. Es iſt g ein Cylinder von trocknem Holz, ungefähr 6″ lang und $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmeſſer; h iſt ein Cylinder von Meſſing, welcher dieſelben Dimenſionen hat. Die Axen beider Cylinder ſind einander parallel. Auf dem Holzcylinder iſt ein Schraubengang eingeſchnitten, und an einem ſeiner Enden (dem vorderen unſerer Figur) trägt derſelbe einen Meſſingring, an welchem das Ende eines langen und ſehr dünnen Drahtes befeſtigt iſt. Dieſer wird auf den Holzcylinder ſo aufgewickelt, daß er die ſämmtlichen Schraubengänge ausfüllt, und dann mit ſeinem andern Ende auf dem jenſeitigen Ende des Meſſingcylinders befeſtigt. — Die zum Einſchrauben von Drähten beſtimmten Meſſingſäulchen J und k, ſitzen auf Metallfedern, von denen die eine gegen das vordere Ende des Meſſingcylinders h, die andere gegen den Meſſingring des Holzcylinders drückt (in der Fig. ſind die Federn nicht ſichtbar). Die abnehmbare Kurbel m dient zum Drehen der Cylinder um ihre Axen. Steckt man ſie auf den Cylinder h und dreht man nach der Rechten, ſo wird der Draht vom Holzcylinder ab und auf den Meſſingcylinder gewickelt; ſteckt man ſie dagegen auf den Cylinder g und dreht nach der Rechten, ſo geſchieht das Umgekehrte. Da die Windungen auf dem Holzcylinder iſolirt und durch die Schraubengänge von einander entfernt gehalten werden, ſo durchläuft der Strom auf dieſem Cylinder den Draht ſeiner ganzen Länge nach; allein auf dem Meſſingcylinder, wo die Windungen nicht iſolirt ſind, geht der Strom ſogleich von dem Punkte, wo der Draht den Cylinder berührt, zu der Feder bei k. Der als Widerſtand wirkſame Theil der Drahtlänge

Fig. 104.



iſt alſo das veränderliche Stück, welches ſich auf dem Holzcylinder befindet.

Von den Schraubengängen des Holzcylinders gehen 40 auf einen Zoll. Der Draht iſt von Meſſing, und hat 0,01 Zoll im Durchmeſſer.

Zur Zählung der abgewickelten Windungen iſt eine Skale zwiſchen den beiden Cylindern angebracht, und die Bruchtheile einer Windung beſtimmen ſich mittelſt eines Zeigers, der an der Axe des einen Cylinders befeſtigt iſt, und auf die Theilpunkte eines graduirten Kreiſes hinweiſt.

Die Art und Weiſe, wie dies Inſtrument anzuwenden iſt, bedarf wohl nach dem, was ich in meinem Lehrbuche der Phyſik über die Anwendung des andern Rheoſtaten geſagt habe, keiner Erläuterung mehr.

Differentialwiderſtandsmeſſer. Un den Widerſtand von Metall- 127
drähten zu beſtimmen, hat Wheatſtone ein ſehr einfaches Verfahren angegeben, welches bereits in meinem Lehrbuche der Phyſik (3te Aufl. 2ter Bd. Seite 195) beſprochen worden iſt. Man ſchaltet nämlich in den Schließungsbogen eines conſtanten Elementes das Rheoſtat, das Galvanometer und den Draht ein, deſſen Widerſtand ermittelt werden ſoll, und regulirt den geſammten Widerſtand ſo, daß die Nadel auf irgend einen beliebigen Punkt a der Buſſolentheilung zu ſtehen kommt. Nimmt man nun den Draht aus der Schließung heraus, ſo wird nur die Nadel eine größere Ablenkung zeigen, und um ſie wieder auf den Punkt a zurückzubringen, muß man noch eine beſtimmte Anzahl von Umgängen des Rheoſtaten dem vorhandenen Widerſtande hinzufügen. Man erfährt auf dieſe Weiſe, wie groß der Widerſtand des fraglichen Drahtes iſt, ausgedrückt in Windungen des Rheoſtaten.

Nach dieſer Methode erhält man ziemlich gleich genaue Reſultate, mag man nun einen Multiplicator, oder die ungleich weniger empfindliche Tangentenbuſſole, oder irgend ein anderes Galvanometer anwenden. Der Grund davon iſt folgender: Um an einer Tangentenbuſſole eine Ablenkung etwa von 45^0 hervorzubringen, darf der Geſammtwiderſtand des Schließungsbogens nicht ſehr groß ſeyn. Nehmen wir an, R ſey der Geſammtwiderſtand der ganzen Kette für dieſen Fall, und eine Vermehrung oder Verminderung dieſes Widerſtandes r bringe eine ſolche Veränderung in der Stromſtärke hervor, daß die Ablenkung der Nadel um 1^0 verändert wird.

Wendet man nun einen Multiplicator an, der etwa 150mal empfindlicher iſt als die Tangentenbuſſole, ſo wird der Geſammtwiderſtand der Kette nahezu 150 R ſeyn müſſen, wenn die Ablenkung der Nadel des Multiplicators auch um 45^0 abgelenkt werden ſoll. Um eine gleiche Veränderung in der Stromſtärke hervorzubringen, wie die oben erwähnte

war, muß man jetzt den Widerſtand um 150 r vermehren oder vermindern müſſen. Weil aber der Multiplicator 150mal empfindlicher iſt als die Tangentenbuſſole, ſo wird ſchon der 150ſte Theil dieſer Widerſtandsveränderung, alſo ebenfalls r genügen, um den Stand der Nadel um 1° zu vergrößern oder zu verkleineren; dieſelbe Widerſtandsänderung r bringt alſo an beiden Inſtrumenten nahe zu gleiche Ablenkungsänderungen hervor.

Soll der Multiplicator ganz geringe Veränderungen im Schließungsbogen angeben, ſo muß dafür geſorgt werden, daß die entſprechende Stromdifferenz im Multiplicator zur Wirkung kommt, ohne daß ſchon ein ſehr bedeutender Widerſtand im Schließungsbogen eingeſchaltet iſt. Wheatſtone hat dies mit Hülfe der Fig. 105 dargeſtellten Vorrichtung, welche er Differential-Widerſtandsmeſſer nennt, erreicht. Auf einem Brette, etwa 14 Zoll lang und 4 Zoll breit, ſind, ein Parallelogramm bildend, die Meſſingſäulchen a, b, c und d befeſtigt, ferner zwiſchen a und d noch die Säulchen e und f, zwiſchen d und b die Säulchen g und h. Dieſe Säulchen, welche mit Klemmſchrauben verſehen ſind, damit man Drähte in ſie einſchrauben kann (alſo Säulchen wie die, welche ſich an dem Inſtrumente befinden, das Seite 211 des 2ten Bandes meines Lehr-

Fig. 105.

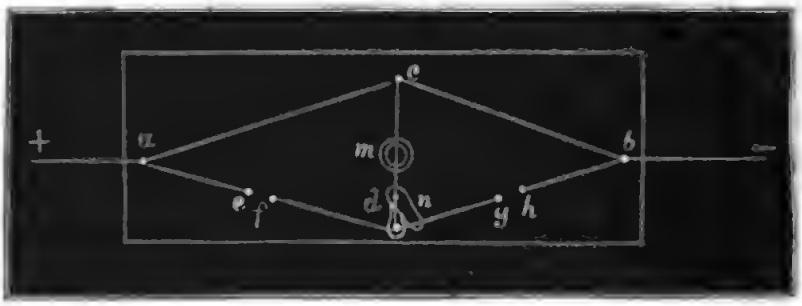
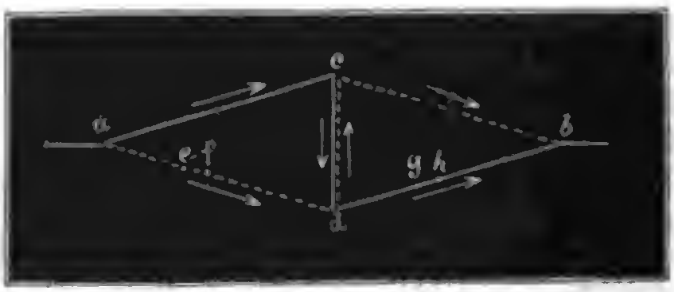


Fig. 106.



buchs abgebildet iſt), ſind durch Drähte verbunden, wie man in der Figur ſieht. — In a wird nun der eine, in b der andere Poldraht des Elektromotors eingeſchraubt; ferner ſind die Enden des Multiplicatordrahtes in

c und *d* eingeſchraubt, ſo daß die Säulchen *c* und *d* durch den Multiplicator *m* in leitender Verbindung ſtehn; zwiſchen *e* und *f* iſt ein Drahtſtück und ein anderes zwiſchen *g* und *h* eingeſchaltet. Die Ströme verzweigen ſich hier in mannigfacher Art, wir aber haben nur die zu betrachten, welche durch den Multiplicator gehen.

Ein Strom geht von *a* nach *c*, von *c* durch *m* nach *d*, von *d* über *g* und *h* nach *b*, wie es in Fig. 106 durch die ausgezogene Linie angedeutet iſt; ein anderer Strom, welcher den Multiplicator in entgegengeſetzter Richtung durchläuft, geht von *a* über *e* und *f* nach *d*, von *d* durch *m* nach *c* und endlich von *c* nach *b*, wie es in Fig. 106 durch die punktirte Linie angedeutet iſt. Sind die Widerſtände in den beiden Drahtleitungen *acdb* und *adcb* vollkommen gleich, ſo ſind es auch die beiden durch den Multiplicator gehenden Ströme, die Nadel wird alſo auf dem Nullpunkte ſtehen bleiben.

Macht man nun den zwiſchen *e* und *f* eingeſchalteten Draht nur ein wenig länger oder kürzer, ſo werden die beiden, in entgegengeſetzter Richtung durch den Multiplicator gehenden Ströme nicht mehr gleich ſeyn, die Differenz der Stromſtärke wird die Ablenkung der Nadel bewirken. Da nun aber die Summe aller Leitungswiderſtände hier überhaupt nicht groß iſt, ſo wird auch eine ganz geringe Veränderung des zwiſchen *e* und *f* eingeſchalteten Widerſtandes eine merkliche Veränderung der Stromſtärke, alſo eine merkliche Ablenkung der Nadel bewirken.

Um nun mittelſt dieſer Vorrichtung den Widerſtand eines Drahtes in Windungen des Rheoſtaten ausgedrückt zu erhalten, kann man folgenderweiſe verfahren. Man ſchalte zwiſchen *e* und *f* den Rheoſtaten mit einigen Windungen und zwiſchen *g* und *h* einen Draht ein, deſſen Widerſtand nahezu dem des auf der andern Seite eingeſchalteten Theils des Rheoſtaten gleich iſt, und regulire Alles ſo, daß die Nadel auf 0 zu ſtehen kommt *). Schaltet man nun zwiſchen *g* und *h* außer dem ſchon vorhandenen noch den Draht ein, deſſen Widerſtand man ermitteln will, ſo muß man auf der andern Seite noch eine Reihe von *n* Rheoſtatenwindungen einſchalten, um die Nadel wieder auf 0 zu bringen. Dieſe

*) Um eine ſolche Regulirung zu erleichtern, hat Wheatſtone noch eine beſondere Vorrichtung an ſeinem Inſtrumente angebracht. Das Säulchen *d* ſitzt auf einem Meſſingſtücke feſt. An dem anderen Ende dieſes Meſſingſtreifens dreht ſich um einen Stift das Meſſingſtück *n*, deſſen freies Ende auf den Draht liegt. Wenn *n* an *d* anliegt, ſo hat es keinen weitern Einfluß, je weiter es aber von *d* gegen *g* hin gerückt wird, deſto mehr wird der Widerſtand auf dem Wege *dg* vermindert. Wenn es nöthig iſt, ſo kann man das drehbare Meſſingſtück *m* auch auf die andere Seite von *d* bringen.

Zahl n der noch einzuſchaltenden Umgänge des Rheoſtatendrahtes iſt nun das Maaß für den Widerſtand des fraglichen Drahtes.

Außer dieſer Vorrichtung hat Wheatſtone noch einige andere zu gleichem Zwecke conſtruirt; hier mag die Beſchreibung der einfachſten genügen.

Dritter Abſchnitt.

Leitungswiderſtand der Metalle und Flüſſigkeiten, galvaniſche Polariſation und Paſſivität.

Um nach der Ohm'ſchen Formel die Stromſtärke in gegebenen Fäl- 128
len berechnen zu können, reicht es nicht hin, die Conſtanten des Elektromotors zu kennen, man muß auch den Leitungswiderſtand der feſten Leiter kennen, welche in den Schließungsbogen eingeſchaltet ſind, und falls der Strom auch eine Zerſetzungszelle zu durchlaufen hat, außer dem Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten auch die an den Elektroden auftretende elektromotoriſche Gegenkraft, die ſogenannte galvaniſche Polariſation. Die Leitung des Stromes hängt aber bekanntlich außer den Dimenſionen der Körper auch von ihrem ſpecifiſchen Leitungsvermögen ab, welches wir zunächſt betrachten wollen.

Leitungswiderſtand der Metalle. Nach der Wheatſtone'ſchen 129
Methode hat Buff den Leitungswiderſtand einiger Metalle beſtimmt wie folgt (Jahresbericht von Liebig und Kopp für 1847 und 1848 Seite 286.):

Silber	0,954
Kupfer, chemiſch rein .	1
Kupfer des Handels	
erſte Sorte . . .	1,170
zweite Sorte . .	1,507
Neuſilber	11,833.

Buff hat bei ſeinen Angaben den Leitungswiderſtand des Silbers zur Einheit genommen; weil wir aber alle Widerſtände mit Kupferdraht vergleichen, ſo habe ich Buff's Angabe auf dieſes Metall reducirt.

Um den abſoluten Werth des Leitungswiderſtandes eines Drahtes von dieſen Verhältnißzahlen zu unterſcheiden, ſchlage ich vor, dieſe den ſpeci-

ſiſchen Leitungswiderſtand zu nennen. Der ſpecifiſche Leitungswiederſtand eines Metalls iſt die Zahl, welche angiebt, um wie viel mal ſein Leitungswiderſtand größer iſt, als der eines Kupferdrahts von gleichen Dimenſionen. Bezeichnen wir mit s den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand eines Metalles, ſo iſt der abſolute Leitungswiderſtand w eines Drahtes von der Länge l und dem Radius r

$$w = s \frac{l \,.\, 0{,}785}{\pi r^2}.$$

Der ſpecifiſche Leitungswiderſtand iſt daſſelbe, was *Rieß* die elektriſche *Verzögerungskraft* nennt; der reciproke Werth des ſpecifiſchen Leitungswiderſtandes wurde bisher mit dem Namen der *Leitungsfähigkeit* bezeichnet. Es ſcheint aber in der That zweckmäßig, ſtatt der Zahlenwerthe für die Leitungsfähigkeit die des ſpecifiſchen Leitungswiderſtandes in Anwendung zu bringen.

Die von *Buff* beſtimmten Zahlenwerthe für den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand von Silber, Kupfer und Neuſilber, welche oben mitgetheilt wurden, dürften wohl vorzugsweiſe großes Zutrauen verdienen, weil ſie mit großer Sorgfalt und, worauf ich noch ganz beſondern Werth lege, *nach einer einfachen und directen Methode* ermittelt wurden, welche deſſen ungeachtet der größten Genauigkeit fähig iſt. Das Silber war eigens zu dieſem Zwecke im chemiſchen Laboratorium zu Gießen dargeſtellt worden. Das reine Kupfer war mit großer Sorgfalt auf galvaniſchem Wege bereitet, aber dennoch nicht ganz frei von Eiſen, indem es einer chemiſchen Analyſe zufolge nach 0,02 Procent dieſes Metalls enthielt. Die erſte Sorte des Handelskupfers enthielt 0,22 Procent Eiſen, die zweite Sorte neben einer Spur von Eiſen 0,2 Procent Blei und 0,26 Procent Nickel.

In der folgenden Tabelle ſind neben den Leitungswiderſtänden verſchiedener Metalle, wie ſie *E. Becquerel* (Ann. de chimie et de physique 3. serie XVII 242.; P. A. LXX. 243) beſtimmte, die von *Rieß* gefundenen geſtellt (Seite 130), und zwar den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand des Kupfers zur Einheit genommen.

	Rieß.	Becquerel.		Frick u. Müller.
		hart	geglüht	
Silber . . .	0,67	0,95	0,89	—
Kupfer . . .	1,00	1	0,97	1
Gold . . .	1,13	1,38	1,36	—
Kadmium . .	2,61	3,62	—	—
Meſſing . .	3,61	—	—	4
Zink	—	3,69	—	—
Palladium . .	5,49	6,63	—	—

	Rieß.	Becquerel. hart	Becquerel. geglüht	Frick u. Müller.
Eiſen . . .	5,66	7,44	7,30	6,4
Platin . . .	6,44	11,08	10,99	—
Zinn . . .	6,80	6,52	—	—
Nickel . . .	7,69	—	—	—
Blei	9,70	10,86	—	—
Neuſilber . .	11,29	—	—	13,3
Queckſilber . .	—	49,49	—	—

Die Methode, nach welcher Becquerel dieſe Zahlen erhalten hat, iſt im Weſentlichen folgende. Sein Galvanometer, welches er Differenzialgalvanometer nennt, iſt durch zwei ganz gleiche neben einander herlaufende geſonderte Drähte gebildet, jeder iſt 3 Meter lang. Die Enden der beiden Multiplicatorwindungen werden nun ſo mit dem Elektromotor verknüpft, daß der Strom in beiden Gewinden eine entgegengeſetzte Richtung hat, daß alſo nur die Differenz der beiden Stromſtärken zur Wirkung kommt. In dem einen Schließungsbogen iſt nun ein Rheoſtat eingeſchaltet, vermittelſt deſſen man den Widerſtand der beiden Schließungsbogen vollkommen gleich machen kann, ſo daß die Galvanometernadel auf dem Nullpunkt ſtehen bleibt. Schaltet man nun in den andern Schließungsbogen den zu beſtimmenden Draht ein, ſo muß man, um die Galvanometernadel auf dem Nullpunkt zu erhalten, mittelſt des Rheoſtats eine dem Widerſtande nach äquivalente Anzahl von Rheoſtatenwindungen dem ſchon vorhandenen Widerſtand hinzufügen. Man erhält auf dieſe Weiſe den Widerſtand des Drahtes zunächſt in Rheoſtatenwindungen ausgedrückt.

Man überſieht leicht, daß dieſe Methode im Weſentlichen auf die Anwendung des Wheatſtone'ſchen Differenzialwiderſtandsmeſſers herauskommt, welche jedoch den großen Vortheil hat, daß man dazu jedes gewöhnliche Galvananometer brauchen kann, während die Becquerel'ſche Methode ein eigens conſtruirtes Galvanometer erfordert.

Das Silber, welches Becquerel zu ſeinen Verſuchen anwandte, war aus Chlorſilber reducirt, das Kupfer war elektrochemiſch gefällt und geſchmolzen.

Die Zahlen der letzten Columne ſind aus Verſuchen berechnet, welche Frick und ich gemeinſchaftlich nach der Wheatſtone'ſchen Methode anſtellten. Das Kupfer war galvaniſch niedergeſchlagen.

Die meiſten Verſuche gaben für das Silber einen dem Kupfer ſehr nahen Leitungswiderſtand, während Rieß ſowohl als ſchon früher Lenz ihn bedeutend geringer fanden; von einer Verunreinigung des Silbers kann dieſer auffallende Unterſchied nicht herrühren, denn eine ſolche würde den Leitungswiderſtand vergrößern und nicht verkleinern.

Nach den Meſſungen von Lenz (P. A. XLIV. 345.) iſt der Leitungswiderſtand des

Antimons . .	11,23
Queckſilbers . .	21,45
Wismuths . .	38,47

130 **Abhängigkeit des Leitungswiderſtandes der Metalle von der Temperatur.** Den Einfluß der Temperaturveränderung auf die Leitungsfähigkeit der Metalle hat Lenz unterſucht. Er berichtet darüber in Poggendorff's Annalen Band XXXIV. Seite 418 und Band XLV. Seite 105. Dem letzteren Aufſatz entnehmen wir die folgende Zuſammenſtellung ſeiner Reſultate.

	Leitungsfähigkeit für Elektricität bei		
	0	100°	200°
Silber	136,25	94,45	68,72
Kupfer	100,00	73,00	54,82
Gold	79,79	65,20	54,49
Zinn	30,84	20,44	14,78
Meſſing	29,33	24,78	21,45
Eiſen	17,74	10,87	7,00
Blei	14,62	9,61	6,76
Platin	14,16	10,93	9,00.

Aus dieſer Tabelle erſieht man ſehr anſchaulich, wie ſtark der Einfluß der Wärme auf die Leitungsfähigkeit der Metalle, und ferner, wie ungleich dieſer Einfluß bei den verſchiedenen Metallen iſt. So haben z. B. bei 100° die letzten fünf Metalle ihre gegenſeitige Stelle in der Ordnung der Leitungsfähigkeiten ſchon ganz geändert; das Blei iſt das am ſchlechteſten leitende Metall geworden; das Platin iſt ſogar über das Eiſen hinaufgerückt; das Meſſing leitet beſſer wie Zinn, welches bei 0° in dieſer Hinſicht über ihm ſteht. Bei 200° iſt die Reihenfolge zwar noch dieſelbe geblieben wie bei 100°, indeſſen ſind ſich hier Kupfer und Gold faſt ganz gleich geworden, ſo daß das Gold in noch höherer Temperatur beſſer leitend werden muß als Kupfer.

In Betreff der Art und Weiſe, wie Lenz zu obigen Zahlenwerthen gekommen iſt, ſind noch einige Bemerkungen zu machen. Der Strom, deſſen er ſich bediente, war ein magnetoelektriſcher, in deſſen Schließungsbogen ein Multiplicator abwechſelnd mit und ohne den zu beſtimmenden Draht eingeſchaltet war. Dieſer Draht war ſpiralförmig aufgewunden, jedoch ſo, daß ſich die einzelnen Windungen nicht berührten, und in ein Oelbad gelegt, welches durch eine Weingeiſtlampe auf conſtanter Temperatur erhalten wurde. Die Leitungsfähigkeit des Drahtes wurde nun für eine

Reihe (meiſt 10 bis 15) verſchiedener Temperaturen des Oelbades ermittelt und dann mittelſt der verſchiedenen zuſammengehörigen Werthe der Leitungsfähigkeit g und der Temperatur t die wahrſcheinlichſten Werthe der conſtanten Factoren der Gleichung

$$g = a + bt + ct^2$$

beſtimmt. Es ergaben ſich auf dieſe Weiſe zur Berechnung der Leitungsfähigkeit verſchiedener Metalle folgende Gleichungen:

für Silber $g = 136{,}25 - 0{,}4984t + 0{,}000804t^2$
» Kupfer $g = 100{,}00 - 0{,}3137t + 0{,}000437t^2$
» Gold $g = 79{,}79 - 0{,}1703t + 0{,}000244t^2$
» Zinn $g = 30{,}84 - 0{,}1277t + 0{,}000273t^2$
» Meſſing $g = 29{,}33 - 0{,}0517t + 0{,}000061t^2$
» Eiſen $g = 17{,}74 - 0{,}0837t + 0{,}000150t^2$
» Blei $g = 14{,}62 - 0{,}0608t + 0{,}000107t^2$
» Platin $g = 14{,}16 - 0{,}0389t + 0{,}000066t^2$.

Dieſe Formeln, nach welchen die obige Tabelle berechnet wurde, ſchließen ſich den Beobachtungen ſehr gut an.

Auch E. Becquerel hat das Verhältniß der Leitungsfähigkeit der Metalle zur Temperatur unterſucht, und in dem ſchon oben Seite 306 citirten Aufſatz publicirt.

Fig. 107.

Die Art und Weiſe, wie Becquerel ſeine Drähte einer höhern Temperatur ausſetzte, iſt folgende: der Metalldraht, der zum Verſuch dienen ſoll, wird auf einer Glasröhre CD, Fig. 107, von 1 Centimeter Durchmeſſer und 5 bis 6 Centimeter Länge, ſo aufgewunden, daß ſich die einzelnen Windungen nicht berühren. Wenn der Draht mehr als eine Lage bildet, ſo wird dieſe mit Seide bedeckt und dann erſt die Windungen der zweiten Lage aufgewickelt. Damit ſich die Drahtwindungen nicht aufrollen können, werden ſie mit Seide befeſtigt. Die beiden Enden des aufgewundenen Drahtes werden nun an die untern Enden der dicken Kupferdrahtſtücke a und b befeſtigt, deren Widerſtand man vernachläſſigen kann. Eines der Stäbchen, nämlich a, iſt an dem obern Ende der Glasröhre CD befeſtigt, das andere E geht im Innern dieſer Röhre herab. Die ſo bewickelte Glasröhre wird nun in ein mit Oel gefülltes Proberöhrchen geſteckt. Die beiden Stäbchen a und b gehen durch zwei kleine Röhrchen hindurch, welche in dem Kork $A\,A'$ ſtecken, durch welchen die Röhre CD in der Mitte des Oels gehalten wird. Ein Thermometer mit langem Gefäß dient zur Meſſung der Temperatur des Oels.

Das Oel wurde durch Eintauchen des Proberöhrchens in ein Waſſerbad

erwärmt, Becquerel's Meſſungen gingen alſo nicht über den Siedpunkt des Waſſers hinaus.

Becquerel zieht aus ſeinen Beobachtungen den Schluß, daß die Abnahme des Leitungsvermögens der Zunahme der Temperatur proportional ſei!

Demnach muß der Leitungswiderſtand eines Metalls für jeden Temperaturgrad um gleichviel wachſen; die folgende Tabelle giebt an, um den wie vielten Theil ſeines Leitungswiderſtandes bei 0°, der Leitungswiderſtand eines Metalles für jeden Temperaturgrad währt.

Silber .	0,0040	Platin .	0,0019
Blei . .	0,0043	Zink . .	0,0037
Gold .	0,0034	Kadmium	0,0040
Eiſen .	0,0047	Zinn . .	0,0062
Kupfer .	0,0041	Queckſilber	0,0010.

Danach berechnet Becquerel eine Tabelle für die Leitungsfähigkeit dieſer Metalle bei 0 und 100°, in welcher aber die Leitungsfähigkeit des Silbers bei 0° gleich 100 geſetzt wird; um die Vergleichung mit den Lenz'ſchen Reſultaten zu erleichtern, habe ich jedoch dieſe Tabelle für Kupfer = 100 umgerechnet.

	bei 0°	bei 100°	Diff.
Silber	109,3	77,9	31,4
Kupfer	100,0	70,9	29,1
Gold	71,0	52,6	18,4
Kadmium	26,8	19,1	7,7
Zink	26,2	19,2	7,0
Zinn	15,3	9,4	5,9
Eiſen	13,5	9,2	4,3
Blei	9,0	6,3	2,7
Platin	8,6	7,3	1,3
Queckſilber	1,9	1,7	0,2.

Wie man ſieht, iſt nirgends einige Uebereinſtimmung mit den Reſultaten von Lenz, ſowohl was die Leitungsfähigkeit der Metalle bei 0° betrifft, als auch in Anſehung der Abnahme derſelben bei wachſender Temperatur. Wäre das von Becquerel aufgeſtellte Geſetz richtig, ſo müßten in den Gleichungen auf Seite 309 die Factoren von t^2 gleich Null, die Factoren t aber ſollten, mit 100 multiplicirt, den Differenzen der letzten Tabelle gleich ſein.

Zuletzt hat ſich Müller in Halle mit dieſem Gegenſtand beſchäftigt (P. A. LXXIII. 434.) in der Abſicht, nachzuweiſen, daß wohl eine Abhängigkeit beſtehe zwiſchen der Zunahme des ſpecifiſchen Leitungswiderſtandes und der Zunahme der ſpecifiſchen Wärme. Er legt hierbei, was den

Leitungswiderſtand betrifft, die Meſſungen von Lenz zu Grunde; zur Beſtätigung dieſer Zahlen ſtellte er ſelbſt eine Verſuchsreihe mit Eiſendraht an, deren Reſultate gut zu den Lenz'ſchen paſſen. Die Zunahme, welche der Leitungswiderſtand von Zink und Queckſilber bei wachſender Temperatur erleidet und welche Lenz nicht beſtimmt hatte, fand Müller ziemlich nahe der Temperaturzunahme proportional.

Die ſpecifiſche Wärme bei verſchiedenen Temperaturen betreffend, ſo legt Müller die Beſtimmungen von Dulong und Petit zu Grunde mit der Annahme, daß die Zunahme der ſpecifiſchen Wärme dem Wachsthum der Temperaturzunahme proportional ſei. — Ob das wahr iſt oder nicht, wollen wir dahingeſtellt ſein laſſen, wäre es aber der Fall, ſo wäre gerade das Gegentheil von dem bewieſen, was Müller darthun will, denn nach den Beſtimmungen von Lenz iſt die Zunahme des Leitungswiderſtandes der Temperaturzunahme nicht proportional; mit Becquerel's Meſſungen würde ſich die Müller'ſche Hypotheſe vielleicht eher vertragen.

Müller vergleicht nun den Wachsthum der ſpecifiſchen Wärme von Queckſilber, Platin, Kupfer, Zink, Silber und Eiſen mit der entſprechenden Zunahme des Leitungswiderſtandes; die Harmonie, welche ſich dabei herausſtellt, iſt nicht ſonderlich; dies entſcheidet aber, nach Müller's Meinung, nichts gegen ſeine Annahme der Abhängigkeit der Zunahme des Leitungswiderſtandes von der ſpecifiſchen Wärme, weil die Beſtimmungen der ſpecifiſchen Wärme für verſchiedene Temperaturen bei weitem noch nicht den nöthigen Grad von Genauigkeit haben. — Giebt man dieſen Mangel an Genauigkeit zu, wie man wohl nicht anders kann, ſo muß man auch zugeben, daß es bei unſerer gegenwärtigen Kenntniß der Thatſachen wenigſtens ein fruchtloſes Beſtreben iſt, eine ſolche Beziehung nachweiſen zu wollen.

Leitungswiderſtand des menſchlichen Körpers. Mit dieſem Ge- 131
genſtand haben ſich Lenz und Ptſchelnikoff beſchäftigt; als Elektromotor diente ihnen eine magnetoelektriſche Spirale. Nach ihren Beſtimmungen iſt der Widerſtand des menſchlichen Körpers, wenn man die ganze Hand in Waſſer taucht, dem $1/100$ Schwefelſäure zugeſetzt iſt, gleich dem von

91762

Metern Kupferdraht von 1^{mm} Durchmeſſer. Man kann dies jedenfalls nur als eine ſehr grobe Annäherung betrachten und deshalb dürfte wohl auch die Beſchreibung der Einzelnheiten der Verſuche hier unnöthig ſein.

Pouillet hat früher (P. A. XLII. 305) den Widerſtand des Körpers zu

49082

Metern Normaldraht beſtimmt. —

Wenn dieſe Zahlen auch ſehr ungenau ſein mögen, ſo zeigen ſie uns doch, daß der Leitungswiderſtand des Körpers ſehr groß iſt, und daß alſo die

Stromſtärke derjenigen Ströme, welche in dem Körper die phyſiologiſchen Effecte hervorbringen, jedenfalls ſehr gering iſt.

Denken wir uns den menſchlichen Körper in den Schließungsbogen einer Bunſen'ſchen Säule von 50 Bechern eingeſchaltet, ſo iſt die Stromſtärke

$$\frac{50 \cdot 800}{49000} = \frac{40}{49} = 0{,}8,$$

wenn wir in runder Zahl die elektromotoriſche Kraft eines Bunſen'ſchen Elementes $= 800$ ſetzen, und den Leitungswiderſtand der Säule (ungefähr 500) gegen den des eingeſchalteten Körpers vernachläſſigen, vorausgeſetzt, daß wir für den Leitungswiderſtand des Körpers die kleinere, Pouillet'ſche Zahl ſetzen; dieſe Stromſtärke entſpricht einer Ablenkung von ungefähr $^3/_4$ Graden an unſerer Tangentenbuſſole. Ein einziges Bunſen'ſches Element, durch den Körper geſchloſſen, gäbe alſo nur eine Stromſtärke $\frac{0{,}8}{50} = 0{,}016$.

Ob wohl die Stromſtärke des Inductionsſtroms, welcher, von einem einzigen Elemente herſtammend, im menſchlichen Körper ſo heftige Schläge hervorbringt, bedeutender iſt?

132 **Galvaniſche Polariſation.** Ein 2, 3, 4mal ſo langes Drahtſtück ſetzt dem galvaniſchen Strom auch einen 2, 3, 4mal ſo großen Leitungswiderſtand entgegen; iſt nun die elektromotoriſche Kraft der Kette und ihr Leitungswiderſtand bekannt, ſo kann man für jede beliebige Drahteinſchaltung nach dem Ohm'ſchen Geſetze die Stromſtärke berechnen. Bezeichnen wir mit E die elektromotoriſche Kraft der Kette, mit R den weſentlichen Widerſtand derſelben, ſo iſt, wenn r den Widerſtand des Schließungsdrahtes bezeichnet, die Stromſtärke

$$S\frac{E}{R+r},$$

und wenn man einen Draht von gleicher Dicke aber $n$facher Länge als Schließungsbogen anwendet, ſo iſt die Stromſtärke

$$S' = \frac{E}{R+nr}.$$

Bei Einſchaltung von Flüſſigkeiten iſt es nicht ſo. Bezeichnen wir mit E und R wieder dieſelben Dinge wie oben, mit w den Leitungswiderſtand der Flüſſigkeit in einem Voltameter, welches in dem Schließungsbogen eingeſchaltet iſt, ſo wäre

$$S = \frac{E}{R+w}$$

die Stromſtärke, wenn das Ohm'ſche Geſetz hier ganz in der Weiſe in

Anwendung käme, wie bei Metalldrähten. Bringt man die Voltameterplatten $n$mal ſo weit von einander, ſo müßte jetzt die Stromſtärke

$$S' = \frac{E}{R + nw}$$ ſeyn.

Hat man die Stromſtärke für eine gewiſſe Entfernung der Voltameterplatten ermittelt, ſo findet man ſie aber für die doppelte, dreifache, vierfache Entfernung der Polplatten größer, als man nach unmittelbarer Anwendung der Ohm'ſchen Formel hätte erwarten ſollen.

Dies erſieht man unter andern aus einer Reihe von Verſuchen, welche Lenz anſtellte, und die im XLIV. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 349 mitgetheilt wurden. — Ohne näher auf die Beſchreibung der Beobachtungsmethoden einzugehen, deren ſich Lenz bediente, mag hier die Aufführung einiger hierher gehöriger Reſultate genügen.

Bei metalliſcher Schließung ſeiner Kette (der Strom war ein magnetoelektriſcher) erhielt Lenz eine Stromſtärke $= 0{,}648$ (nach einer willkürlichen Einheit). — Als der Strom durch eine concentrirte Auflöſung von Kupfervitriol ging, in welcher zwei Kupferplatten als Elektroden eingetaucht waren, ergab ſich die Stromſtärke gleich

$$0{,}425,$$

als die Elektroden 12,6 Millimeter von einander abſtanden. — Bezeichnet man den geſammten Leitungswiderſtand, den der Strom im erſten Falle zu überwinden hatte, mit 1, ſo iſt

$$\frac{E}{1} = 0{,}648 \text{ alſo } E = 0{,}648,$$

und wenn man den Leitungswiderſtand der eingeſchalteten Flüſſigkeitsſchicht ganz in derſelben Weiſe berechnet, wie dies bei Drähten geſchieht,

ſo erhält man $\frac{E}{1 + x} = 0{,}425,$

und daraus $x = 0{,}5.$

Werden die Elektroden bei ſonſt ganz gleichen Umſtänden 8mal ſo weit von einander entfernt, ſo würde man, wenn ohne weiteres das Ohm'ſche Geſetz hier angewendet werden könnte wie bei Drähten, erwarten können, daß die 8mal ſo dicke Flüſſigkeitsſchicht jetzt 8mal ſo großen Leitungswiderſtand leiſtet, die Stromſtärke müßte jetzt ſein

$$\frac{E}{1 + 8x} = \frac{0{,}648}{1 + 8.0{,}5} = \frac{0{,}648}{5} = 0{,}129,$$

während der Verſuch in dieſem Falle die Stromſtärke 0,199 ergab.

Bei 12facher Entfernung der Polplatten hätte man nach unmittelbarer Anwendung des Ohm'ſchen Geſetzes die Stromſtärke 0,0648 erwarten ſollen, der Verſuch gab 0,120.

In etwas anderer Form ergiebt ſich ein gleiches Reſultat aus den Ver-

ſuchen Horsford's (P. A. LXX. 238). In den Schließungsbogen einer Bunſen'ſchen Säule wurde eine Tangentenbuſſole und ein Rheoſtat eingeſchaltet; mittelſt der letztern wurde die Ablenkung der Nadel auf 10° zurückgebracht; nun wurde außerdem noch eine 2,5 Cent. dicke Schicht von verdünnter Schwefelſäure, zwiſchen zwei Platinplatten befindlich, eingeſchaltet; man mußte jetzt den Rheoſtaten um 32 Windungen zurückdrehen, oder mit andern Worten, man mußte 32 Windungen aus dem Schließungsbogen wegnehmen, um die Ablenkung wieder auf 10° zu bringen. Als nun die beiden Platinplatten in die doppelte Entfernung gebracht wurden, mußte man nicht etwa abermals 32 Windungen aus dem Schließungsbogen entfernen, um die Ablenkung auf 10° zu erhalten, ſondern nur 20,5 Windungen; für jede folgende Vermehrung der Dicke der flüſſigen Schicht um 2,5 Millimeter mußte dann immer wieder nur 20,5 Windungen aus dem Schließungsbogen entfernt werden, um die gleiche Ablenkung zu erhalten.

So viel ergab ſich aus allen meſſenden Verſuchen der Art, daß die Schwächung der Stromſtärke, welche eintritt, wenn man eine Zerſetzungszelle in den Schließungsbogen einer Kette einſchaltet, nicht allein von dem eigentlichen Leitungswiderſtand der Flüſſigkeit herrühren kann, ſondern daß noch eine weitere Urſache vermindernd auf die Stromſtärke wirkt, die aber nicht mit der Dicke der Schicht zunimmt, ſondern von derſelben unabhängig erſcheint.

Fechner ſchrieb dies einem ſogenannten »Uebergangswiderſtande« zu, welcher an der Berührungsfläche zwiſchen den Metallplatten und der Flüſſigkeit wirken ſollte, er ſtellte ſich alſo vor, daß der Strom außer dem Widerſtande der Flüſſigkeit ſelbſt noch einen beſondern Widerſtand an den Polplatten der Zerſetzungszelle zu überwinden habe, den wir mit u bezeichnen wollen. Wenn nun bei einer beſtimmten Dicke der flüſſigen Schicht die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{R + u + w} \quad \ldots . 1)$$

iſt, ſo wird für eine $n$mal dickere Schicht die Stromſtärke nach der Fechner'ſchen Anſicht

$$S' = \frac{E}{R + u + nw} \quad \ldots . 2)$$

ſeyn. Dieſe Fechner'ſche Hypotheſe vom Uebergangswiderſtand vertrat Anfangs auch Poggendorff. In dem ſchon oben citirten Aufſatze von Lenz hat dieſer gezeigt, daß ſich die Stärke des Stromes, welcher durch eine Flüſſigkeit hindurchgeht, nach der Formel 2) berechnen läßt, und glaubt dadurch die Exiſtenz des Uebergangswiderſtandes bewieſen zu haben.

Ohm, Vorſelmann de Heer und andere Phyſiker ſprachen ſich gegen dieſe Hypotheſe eines Uebergangswiderſtandes aus, und ſchrieben die erwähnten Anomalien einer galvaniſchen Polariſation der Voltameterplatten zu, welche der elektromotoriſchen Kraft der Kette entgegenwirkt. Bezeichnet E die elektromotoriſche Kraft der Kette, ſo wäre dieſer Anſicht zu Folge nach Einſchaltung eines Voltameters die Stromſtärke

$$S = \frac{E - e}{R + w} \quad \ldots . \; 3)$$

wenn e die elektromotoriſche Gegenkraft im Voltameter bezeichnet, während alle übrigen Buchſtaben ihre frühere Bedeutung behalten.

Bei einer $n$fachen Entfernung der Voltameterplatten wäre dieſer Anſicht nach die Stromſtärke

$$S' = \frac{E - e}{R + nw} \quad \ldots . \; 4).$$

Im LIX. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 229 beſpricht Lenz dieſen Gegenſtand abermals. Eine neue Reihe von Verſuchen über die Stromſtärke bei eingeſchalteten Voltametern vergleicht er ſowohl mit der Formel 1) als auch mit 3), und findet, daß beide den Beobachtungen genügen, daß man ſowohl durch die Hypotheſe eines Uebergangswiderſtandes, als auch durch die Hypotheſe einer elektromotoriſchen Gegenkraft an den Elektroden die durch das Voltameter bewirkten Veränderungen der Stromſtärke mit dem Ohm'ſchen Geſetz in Uebereinſtimmung bringen kann.

Dieſe Unterſuchung von Lenz läßt alſo die Frage unentſchieden, während er ſich dahin ausſpricht, daß er die galvaniſche Polariſation für wahrſcheinlicher halte als den Uebergangswiderſtand.

In der Form, wie Lenz ſeine Verſuche combinirt, konnte freilich keine Entſcheidung erwartet werden, die bei einer etwas andern Betrachtungsweiſe des Gegenſtandes nicht hätte fehlen können. Man braucht ganz einfach nur die elektromotoriſche Kraft einer Säule einmal bei metalliſcher Schließung und dann bei eingeſchaltetem Voltameter zu beſtimmen, um zu erfahren, ob im Voltameter eine elektromotoriſche Gegenkraft auftritt oder nicht.

Eine Verſuchsreihe, die ich zu dem Zwecke anſtellte, die Löſung der Frage recht anſchaulich zu machen, gab folgende Reſultate:

Sechs Zinkkohlenelemente wurden zur Säule verbunden. Die in den Schließungsbogen eingeſchaltete Tangentenbuſſole gab

für die Einſchaltung 0 . . . . . 46° Ablenkung
» » » 49 Meter Normaldraht 30° »

und daraus ergiebt ſich für die elektromotoriſche Kraft der Säule der Werth

$$E = 4366.$$

Ein ähnlicher Verſuch, bei welchem ein Meſſingdraht eingeſchaltet wurde, welche 29,2 Metern Normaldraht gleichzuſetzen iſt, gab

$$E = 4479,$$

alſo im Mittel

$$E = 4422.$$

Nun wurde ein Voltameter eingeſchaltet. Ohne weitere Einſchaltung war jetzt die Ablenkung

$$31{,}8^0.$$

Als noch ein Eiſendraht eingeſchaltet wurde, deſſen Widerſtand gleich dem von 49 Metern Normaldraht iſt,

$$20{,}6^0,$$

und daraus

$$E' = 3320.$$

Der Verſuch nach Vertauſchung dieſes Eiſendrahtes mit obigem Meſſingdraht (29,2 M. Normaldraht) gab

$$E = 3520,$$

alſo im Mittel

$$E' = 3420.$$

Dieſe Verſuche zeigen klar, daß durch Einſchaltung des Voltameters die elektromotoriſche Kraft vermindert, und zwar bedeutend vermindert wird, denn es iſt

$$e = E - E' = 1000.$$

Wenn alſo eine Zerſetzungszelle in den Schließungsbogen eingeſchaltet wird, ſo wirken zweierlei Urſachen vermindernd auf die Stromſtärke; erſtens iſt die elektromotoriſche Kraft, welche der Strom in Bewegung ſetzt, vermindert, und zweitens iſt der Leitungswiderſtand vermehrt. Die Stromſtärke iſt in dieſem Falle alſo nach der Formel

$$S = \frac{E - e}{R + w}$$

zu berechnen.

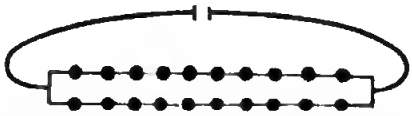
Daniell war meines Wiſſens der Erſte, welcher die Exiſtenz der galvaniſchen Polariſation lediglich durch die Anwendung des Ohmiſchen Geſetzes nachgewieſen hat (P. A. LX. 387. Phil. Transact. f. 1842 pt. II.), und zwar auf eine ſehr ſinnreiche Art, ohne ein anderes Meßinſtrument in Anwendung zu bringen, als das Voltameter ſelbſt.

In den Schließungsbogen einer Säule von 5 Daniell'ſchen Elementen wurde ein Voltameter eingeſchaltet, wie Fig. 108 angedeutet iſt; es lieferte 6 Kubikzoll Knallgas in 5 Minuten. Wäre keine elektromo-

motoriſche Gegenkraft vorhanden, ſo müßte daſſelbe Voltameter in den

Fig. 108.

Fig. 109.



Schließungsbogen von 10 Doppelelementen gebracht, Fig. 109, die doppelte Gasmenge in derſelben Zeit liefern, denn im erſten Falle wäre die Stromſtärke

$$\frac{5E}{5R + r'}$$

im zweiten

$$\frac{10E}{10/2\,R + r} = \frac{10E}{5R + r'}$$

man müßte alſo im letztern Falle 12 Kubikzoll Gas in 5 Minuten erhalten; der Verſuch gab aber nicht 12, ſondern er lieferte 20 Kubikzoll Gas. Setzen wir aber die elektromotoriſche Gegenkraft gleich e, ſo haben wir im erſten Falle

$$\frac{5E - e}{5R + r} = 6,$$

im zweiten

$$\frac{10E - e}{5R + r} = 20,$$

alſo

$$\frac{10E - e}{5E - e} = 20/6,$$

und daraus

$$e = 2{,}857\ E.$$

Die Verſuche mit dem Voltameter genügen alſo nicht allein, um die Exiſtenz der elektromotoriſchen Gegenkraft darzuthun, ſondern auch um die Größe derſelben zu beſtimmen.

Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten. Um den eigentlichen Lei- 133
tungswiderſtand der Flüſſigkeiten zu beſtimmen, muß man durchaus den Einfluß der galvaniſchen Polariſation in Rechnung bringen; die Unkenntniß und Vernachläſſigung derſelben verurſachte es, daß alle frühern Verſuche, den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten zu ermitteln, durchaus widerſprechende Reſultate lieferten.

Lenz hat zuerſt den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand einer Löſung von Kupfervitriol rein von den Einflüſſen der Polariſation zu ermitteln geſucht, und dafür den Werth

6857500

gefunden, d. h. eine Löſung von Kupfervitriol, welche in Form einer flüſſigen Säule an beiden Enden von Metallplatten begränzt, in den Schließungsbogen der Säule eingeſchaltet wird, leiſtet dem galvaniſchen Strom einen 6857500mal größeren Leitungswiderſtand, als eine Kupferſäule von gleichen Dimenſionen (P. A XLIV. 349).

Wheatſtone gab eine treffliche Methode an, um den Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten unabhängig von der Polariſation zu ermitteln. Eine Glasröhre von 2 Zoll Länge und ungefähr ½ Zoll innerm Durchmeſſer iſt (Fig. 110) auf dem größeren Theil ihrer Länge oben offen, indem ¼ des Umfangs weggeſchliffen iſt, ſo daß noch ein Segment von 270° übrig bleibt; an einem Ende der Röhre iſt ein Metallſtöpſel befeſtigt, der mit einer Platinplatte endigt; von der anderen Seite her kann ein beweglicher Stempel, welcher ebenfalls mit einer Platinplatte endigt, bis auf ¼ Zoll der feſten Platinplatte genähert und bis auf ¾ Zoll von ihr entfernt werden.

Fig 110.

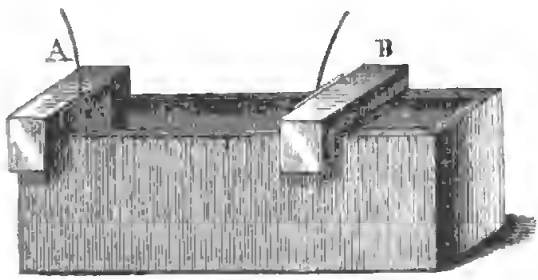
Um den Widerſtand einer Flüſſigkeit zu meſſen, wird nun dieſe Meßröhre mit dem Galvanometer und dem Rheoſtaten in den Schließungsbogen einer conſtanten Säule von etwa 3 Bechern eingeſchaltet. Während die beiden Platinplatten der Röhre ¼ Zoll weit von einander abſtehen, wird der Zwiſchenraum mit der Flüſſigkeit gefüllt, deren Widerſtand gemeſſen werden ſoll, und dann mittelſt des Rheoſtaten die Ablenkung der Nadel des Multiplicators auf einen beſtimmten Punkt gebracht. Nun wird der Stempel um 1 Zoll zurückgezogen, und das ganze wieder mit Flüſſigkeit gefüllt; natürlich iſt jetzt die Nadel des Galvanometers zurückgegangen; um ſie wieder auf ihren urſprünglichen Stand zu bringen, verringert man den Widerſtand der Kette mittelſt des Rheoſtaten und der Widerſtandsrollen *), bis die Nadel wieder auf ihrem früheren Punkte ſteht. Die reducirte Länge des ſonach aus der Kette gebrachten Drahtes iſt das Maaß für den Widerſtand von 1 Zoll der Flüſſigkeit; der Einfluß der Polariſation iſt durch die Art des Verſuchs ſelbſt ſchon eliminirt.

*) Wenn die nothwendigen Veränderungen des Leitungswiderſtandes über die Gränzen des Rheoſtaten hinausgehen, ſo hilft man ſich durch Einſchalten oder Wegnehmen von Drahtrollen (dünnen Draht in die feinen Schraubengänge eines trocknen Holzcylinders aufgewunden), deren Leitungswiderſtand bekannt iſt. Durch Hinzufügen oder Wegnehmen ſolcher Widerſtandsrollen werden dann die bedeutenderen, durch den Rheoſtaten die kleineren Veränderungen des Leitungswiderſtandes bewerkſtelligt.

Auf demselben Princip beruhen auch die Vorrichtungen, welche Horsford und Becquerel anwandten, um den Widerstand der Flüssigkeiten zu messen.

Zur Aufnahme der Flüssigkeit wandte Horsford (P. A. LXX. 238) einen viereckigen Trog von festem, dichtem Holze an (Fig. 111), welche 3 Decimeter lang und 7½ Centimeter breit und tief war; im Innern war er mit Schellackfirniß dick überzogen, um das Eindringen der Flüssigkeit zu verhindern oder doch möglichst zu verzögern. Auf diesem Troge liegen zwei Holzstücke, von denen das eine *A* festsitzt, während das andere *B* wie ein Schlitten hin und her geschoben werden kann. Diese Querstücke dienen, um die in die Flüssigkeit eintauchenden Platten zu halten und nach Belieben ihren Abstand zu ändern. Die Platten von gleicher Größe, wie der Querschnitt des Kastens, werden an Kupferstreifen festgeklemmt, welche ihrerseits wieder an die Querstücke angeschraubt sind.

Fig. 111.



Der mit der Flüssigkeit gefüllte Trog wird nun mit dem Rheostaten und der Tangentenbussole in den Schließungsbogen einer Säule von mehr oder weniger Bechern gebracht, je nachdem die Umstände eine größere oder geringere elektromotorische Kraft erfordern. Der Gang des Versuchs ist ähnlich wie ihn Wheatstone angiebt.

Horsford's Anordnung hat mehrere Vortheile. 1) Kann man Messungen auf eine größere Anzahl verschiedener Abstände der beiden Platten ausdehnen; 2) kann man leicht Platten verschiedener Metalle einsetzen, und 3) kann man Versuche bei verschiedener Anfüllungshöhe des Troges anstellen.

Zunächst hat Horsford gezeigt, daß Flüssigkeitssäulen in Beziehung auf Leitungswiderstand ganz dieselben Gesetze befolgen wie Metalldrähte, d. h. daß sich der Widerstand direct wie die Länge und umgekehrt wie der Querschnitt der flüssigen Schicht verhält.

Der Trog wurde mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, die Platten in 2,5 Centimeter Entfernung gebracht, und der Gesammtwiderstand so regulirt, daß die Nadel der Bussole auf einem bestimmten Punkte (etwa 20°) stand.

Die folgende Tabelle giebt nun an, und zwar in der zweiten Columne, wieviel Rheostatenwindungen (von Neusilberdraht) man aus dem

Schließungsbogen herausnehmen mußte, um die Buſſolennadel auf derſelben Stelle zu erhalten, wenn der Abſtand der Platten (bei unveränderter Anfüllungshöhe des Troges, nämlich 2,75 Centimeter) um die in der erſten Columne ſtehenden Werthe vergrößert wurden.

Centimeter	
2,5	2,11
5,0	4,25
7,5	6,98
12,5	10,75
25,0	20,67.

Wie man ſieht, behalten die entſprechenden Zahlen der beiden Columnen ſehr nahe daſſelbe Verhältniß, der Widerſtand der Flüſſigkeitsſäule iſt alſo wirklich ihrer Länge proportional. Im Durchſchnitt erhält man aus dieſem Verſuch für den Widerſtand einer 5 Centimeter langen Flüſſigkeitsſchicht den Werth von 4,3 Rheoſtatenwindungen.

Als der Trog bis zu einer Höhe von 4,8 Centimetern angefüllt wurde, ergab ſich aus einer gleichen Verſuchsreihe für den Widerſtand einer 5 Centimeter langen Flüſſigkeitsſäule (natürlich dieſelbe verdünnte Säure) der Werth von 2,56 Rheoſtatenwindungen.

Da nun die Anfüllungshöhe 2,75 und 4,8 ſich nahezu umgekehrt verhalten wie die entſprechenden Widerſtände 4,3 und 2,56 (wir haben nämlich $2{,}75 : 4{,}8 = 2{,}56 : 4{,}46$), ſo ſteht alſo der Leitungswiderſtand der flüſſigen Säule im umgekehrten Verhältniſſe ihres Querſchnitts.

Die folgende Tabelle enthält die von Horsford ermittelten Werthe für den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand verſchiedener Flüſſigkeiten.

Namen und Beſchaffenheit der Flüſſigkeit.	Spec. Leitungswiderſtand der des Silbers = 1.
Schwefelſäure von 1,10 ſpec. Gew.	938500
» » 1,15 » »	840500
» » 1,20 » »	696700
» » 1,24 » »	696700
» » 1,30 » »	696700
» » 1,4 » »	1023400
Chlornatriumlöſ. 27,6 Grm. in 500 C.C. Waſſer	7157000
» 21,3 » » » » » » .	9542000
» 10,65 » » » » » » .	18460000
» 5,325 » » » » » » .	34110000
Chlorkaliumlöſ. 27,7 » » » » » .	7168000
Kupfervitriollöſung, wovon 100 C.C. 15,093 Grm. Salz enthalten	12058000

Namen und Beſchaffenheit der Flüſſigkeit.	Spec. Leitungswiderſtand der des Silbers = 1.
Dieſelbe Salzmenge im doppelten Volum Waſſer	17490000
Zinkvitriollöſung, wovon 100 C.C. 7,2587 Grm. Salz enthalten	23515000.

Die genannten Flüſſigkeiten waren chemiſch rein.

Die Fig. 112 ſtellt den Apparat dar, welchen Becquerel zur Meſſung des Leitungswiderſtandes der Flüſſigkeiten anwandte (Annales de chimie et de physique. 3. serie. XVII. 242). Die Einrichtung derſelben bedarf wohl kaum einer weitern Erklärung. Die Metallplatte *a* läßt ſich in einer Glasröhre auf- und abſchieben, an deren unterm Ende ſich die Metallplatte *b* befindet, es iſt alſo die Flüſſigkeitsſäule zwiſchen *a* und *b*, welche der Strom zu durchlaufen hat. Damit keine Seitenſtrömung entſteht, ſind die Zuleitungsdrähte der Platten *a* und *b* in Glasröhren eingekittet.

Fig. 112.

Auch hier bringt Becquerel wieder das Differenzial-Galvanometer in Anwendung; in jedem der beiden Schließungsbogen ſchaltet er einen Apparat, wie der Fig. 112, ein. Dadurch, daß er in dem einen die Platte *a* hebt oder ſenkt, bringt er es dahin, daß die Multiplicatornadel auf 0 zu ſtehen kommt.

Wird nun in dem einen Schließungsbogen eine Drahtſpirale von bekanntem Leitungswiderſtand eingeſchaltet, ſo weicht die Nadel ab, und man muß die Flüſſigkeitsſäule deſſelben Schließungsbogens verkürzen, um die Nadel wieder auf 0 zurückzubringen. Auf dieſe Weiſe mittelt man die Höhe der Flüſſigkeitsſäule aus, welche gleichen Leitungswiderſtand ausübt, wie die eingeſchaltete Drahtſpirale. — Es verſteht ſich von ſelbſt, daß Vorrichtungen getroffen ſind, um die Hebung und Senkung der Platte *a* genau zu meſſen; doch können wir hier auf die Beſchreibung derſelben nicht eingehen.

Nach dieſer Methode fand Becquerel folgende Werthe für den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand verſchiedener Flüſſigkeiten, den des Silbers gleich 1 geſetzt:

Geſättigte Löſung von Kupfervitriol	18450000
» » » Kochſalz	3173000
» » » ſalpeterſaurem Kupfer .	11120000
» » » ſchwefelſaurem Zink .	17330000
Verdünnte Schwefelſäure (220 C.C. Waſſer + 20 C.C. Schwefelſäure mit 1 Atom Waſſer)	1128000
Käufliche Salpeterſäure von 36° B.	1606000

In Betreff des Einfluſſes, welchen der Concentrationsgrad der Löſungen ausübt, fand Becquerel folgende Reſultate:

Schwefelſaures Kupferoxyd.	Widerſtand.
Geſättigte Löſung	18450000
Verdünnt zum 2fachen Volumen . . .	28820000
» » 4fachen Volumen . . .	48080000
Kochſalz.	
Geſättigte Löſung	3173000
Verdünnt zum 2fachen Volumen . . .	4333000
» » 3fachen Volumen . . .	5721000
» » 4fachen Volumen . . .	7864000.

132 **Berechnung der Stromſtärke bei eingeſchaltetem Voltameter.** Nachdem nun der Widerſtand der Flüſſigkeiten und die Größe der galvaniſchen Polariſation (wenigſtens annähernd) bekannt iſt, kann man leicht für eine gegebene Combination die Stromſtärke berechnen. Es ſey z. B. ein Voltameter, deſſen Platten 25 Quadrat-Centimeter (2500 Quadrat-Millimeter) Oberfläche (auf jeder Seite) haben und die 1 Centimeter (0,01 Meter) weit von einander abſtehen, mit verdünnter Schwefelſäure von 1,4 ſpec. Gew. gefüllt, ſo iſt der Widerſtand der flüſſigen Säule im Voltameter $1023400 \frac{0{,}01 \,.\, 0{,}785}{2500} = 32$, alſo die Stromſtärke $\frac{E-1000}{R+32}$, wenn wir mit E die elektromotoriſche Kraft und mit R den geſammten Widerſtand der Säule bezeichnen, und für die Polariſation den auf Seite 316 angegebenen Näherungswerth 1000 nehmen.

Wenn ein Voltameter in den Schließungsbogen einer Säule eingeſchaltet iſt, ſo gilt der Satz nicht mehr, daß man ein Maximum von Stromſtärke erhält, wenn die gegebene Anzahl von Bechern ſo angeordnet wird, daß der Widerſtand der Säule dem Widerſtand des Schließungsbogens gleich iſt, weil die Vorausſetzung, von welcher man bei der Beweisführung auf Seite 290 ausging, daß nämlich bei verſchiedenen Combinationen derſelben Anzahl von Bechern die Widerſtände ſich dem Quadrat der elektromotoriſchen Kraft proportional ändern, wegen der Polariſation im Voltameter nicht mehr ſtattfindet. Das Maximum des Effectes findet ſich nach der Seite derjenigen Combinationen verrückt, bei welchen mehr Becher hintereinander und weniger nebeneinander ſtehen.

Daß eine Verrückung des Maximums nach dieſer Seite ſtattfinden muß, läßt ſich leicht überſehen, wenn wir von einem ſpeciellen Beiſpiel ausgehen. In die verſchiedenen auf Seite 288 betrachteten Combinationen von 24 Bechern, und zwar von Daniell'ſchen Elementen von der

Art, wie ſie auf Seite 256 betrachtet wurden ($E = 470$, $R = 22$), werde ein Draht eingeſchaltet, deſſen Leitungswiderſtand gleich 32 iſt, ſo erhalten wir für die verſchiedenen Combinationen folgende Stromſtärken:

für 1) $\frac{24 \cdot 470}{24 \cdot 22 + 32} = \frac{11280}{560} = 20,$

2) $\frac{12 \cdot 470}{6 \cdot 22 + 32} = \frac{5640}{164} = 34,$

3) $\frac{8 \cdot 470}{2{,}7 \cdot 22 + 32} = \frac{3760}{91} = 41,$

4) $\frac{6 \cdot 470}{1{,}5 \cdot 22 + 32} = \frac{2820}{65} = 43,$

5) $\frac{4 \cdot 470}{0{,}7 \cdot 22 + 32} = \frac{1880}{47} = 40,$

6) $\frac{3 \cdot 470}{0{,}4 \cdot 22 + 32} = \frac{1410}{41} = 34.$

Wir haben hier das Maximum der Stromſtärke, 43, für den Fall, wo der Widerſtand der Säule $1{,}5 \cdot 22 = 33$ faſt ganz gleich iſt dem des Schließungsbogens. Wird nun aber ſtatt des Metalldrahtes, deſſen Widerſtand 32 iſt, das oben betrachtete Voltameter von gleichem Widerſtande eingeſchaltet, ſo wird die Stromſtärke geringer ausfallen müſſen, weil der Zähler obiger Brüche überall noch um 1000 zu verkleinern iſt, es ergeben ſich demnach jetzt für die verſchiedenen Combinationen folgende Stromſtärken:

1) $\frac{11280}{560} - \frac{1000}{560} = 20 - 2 = 18,$

2) $\frac{5640}{164} - \frac{1000}{164} = 34 - 6 = 28,$

3) $\frac{3760}{91} - \frac{1000}{91} = 41 - 11 = 30,$

4) $\frac{2820}{65} - \frac{1000}{65} = 43 - 15 = 28,$

5) $\frac{1880}{47} - \frac{1000}{47} = 40 - 21 = 19,$

6) $\frac{1410}{41} - \frac{1000}{41} = 34 - 24 = 10.$

Es iſt alſo in der That das Maximum des Effectes von der 4ten auf die 3te Combination gerückt.

Wir erſehen aus dieſer Zuſammenſtellung, daß unter den hier betrachteten Verhältniſſen die Schwächung der Stromſtärke durch die Polariſation für diejenigen Combinationen geringer wird, für welche der Geſammtwider-

ſtand größer iſt, und dadurch erklärt ſich denn auch die Verrückung des Maximums nach dieſer Seite.

Wir haben hier angenommen, daß die Größe der Polariſation ſtets dieſelbe bleibt, was freilich nicht ganz der Fall iſt, wie wir ſpäter ſehen werden, doch wird dadurch das weſentliche Reſultat dieſer Betrachtungen nicht geändert.

133 **Verminderung des Leitungswiderſtandes der Flüſſigkeiten durch die Wärme.** Während der Leitungswiderſtand der Metalle durch die Wärme vergrößert wird, wird er umgekehrt bei den Flüſſigkeiten bedeutend vermindert. Die erſten Meſſungen darüber hat Becquerel angeſtellt (Annales de Chimie et de Physique. 3. Serie. XVII. 285). Er wandte die oben Seite 321 beſchriebene Beobachtungsmethode an. Das eine der beiden Flüſſigkeitsbehälter, Fig. 112, wurde durch das Waſſerbad erwärmt, bis die Temperatur feſt ſchien; während der kurzen Dauer des Verſuchs kann man ſie dann in der That als conſtant annehmen.

Bei einer Temperatur von 14,4° fand Becquerel den Widerſtand einer geſättigten Löſung von Kupfervitriol, deren Höhe 3,88 war, gleich dem Widerſtande eines beſtimmten Platindrahtes. Bei einer Temperatur von 56° aber ergab ſich der Widerſtand deſſelben Drahtes gleich dem einer Flüſſigkeitsſäule von der Höhe 8,50.

Da eine Temperaturerhöhung von 56 — 14,4°, alſo von 41,6° nöthig iſt, um die Leitungsfähigkeit der geſättigten Löſung des Kupfervitriols im Verhältniß von 3,88 zu 8,5 zu vermehren, ſo iſt eine Temperaturerhöhung von 35° nöthig, um die Leitungsfähigkeit dieſer Flüſſigkeit zu verdoppeln, wenn man annimmt, daß die Veränderungen der Leitungsfähigkeit denen der Temperatur proportional ſind. Bei einer Temperaturerhöhung von 1° wird demnach die Leitungsfähigkeit unſerer Löſung um $1/35 = 0{,}0286$ ihres Werthes bei 14,4° vermehrt.

Auf dieſelbe Weiſe fand Becquerel, daß für eine Temperaturerhöhung von 1° die Leitungsfähigkeit

einer verdünnten Löſung von Zinkvitriol um . . . 0,0223,
der käuflichen Salpeterſäure um 0,0263,

ihres urſprünglichen Werthes erhöht wird.

Hankel hat eine ausgedehntere Verſuchsreihe über dieſen Gegenſtand bekannt gemacht (P. A. LXIX. 255.). Er fand den

Leitungswiderſtand einer concentrirten Kupfervitriollöſung (*A*) vom ſpec. Gew. 1,17 bei der Temperatur:

0°	11,26
11,9	7,33
31,0	4,70
66,4	3,12.

Leitungswiderſtand von 108,7 Theilen der vorigen Löſung (*A*) mit 185 Theilen Waſſer bei

der Temperatur:

0°	22,87
11	15,16
25	10,5
67,4	7,1.

Leitungswiderſtand einer concentrirten Löſung von ſalpeterſaurem Kupferoxyd bei

der Temperatur:

0°	4,89
11,5	3,27
25	2,18
67,2	1,64.

Leitungswiderſtand einer concentrirten Löſung (*B*) von Zinkvitriol bei

der Temperatur:

0°	13,05
9,8	8,62
27,4	4,55
67,4	2,29.

Leitungswiderſtand einer Miſchung aus 71 Theilen der Löſung *B* und 116 Theilen Waſſer bei

der Temperatur:

0°	13,00
11,1	8,82
28,8	5,57
65,1	3,51.

Die Einheit, nach welcher hier die Leitungswiderſtände ausgedrückt ſind, iſt eine willkürliche.

Die Art und Weiſe, wie der zu dieſer Verſuchsreihe angewandte Flüſſigkeitsbehälter conſtruirt war, iſt mir aus Hankel's Beſchreibung nicht klar geworden.

Betrachten wir nun Hankel's Reſultate, ſo finden wir, daß die Abnahme des Leitungswiderſtandes keineswegs der Zunahme der Temperatur proportional iſt, wie Becquerel annahm.

Es entſpricht für die concentrirte Löſung des Kupfervitriols im Durchſchnitt einer Temperaturerhöhung von 1°:

zwiſchen den Temperaturgränzen	eine Abnahme des Leitungswiderſtandes um
0 und 12°	0,327
12 » 31	0,138
31 » 66,4	0,044.

Für einen beſtimmten Temperaturunterſchied iſt alſo die entſpechende Veränderung in dem Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten um ſo größer je niedriger die Temperatur iſt.

134 **Die galvaniſche Polariſation ändert ſich mit der Größe der Stromſtärke.** Mehrere Phyſiker, unter andern auch Lenz (P. A. LIX. 234.), haben die Behauptung ausgeſprochen, daß die elektomotoriſche Gegenkraft eines Voltameters von der Stromſtärke unabhängig ſey.

In dem oben erwähnten Aufſatz von Daniell (P. A. LX. 387.) wird dieſe Meinung ebenfalls vertreten, und es wird dort verſucht, ſie durch eine Reihe von Meſſungen mit dem Voltameter zu begründen; dieſe Meſſungen dürften jedoch für dieſen Zweck wohl nicht ſcharf genug ſein. Auch Wheatſtone theilt dieſe Meinung, und iſt dadurch zu einem weitern falſchen Schluß verleitet worden. Er beſtimmte nämlich für eine Kette von drei Daniell'ſchen Bechern die elektromotoriſche Kraft, aldann die elektromotoriſche Gegenkraft in einem Voltameter, welches in den Schließungsbogen jener Kette eingeſchaltet wurde. Er fand

$$E = 90$$
$$e = 69.$$

Als Säulen von 4,5 und 6 Elementen angewandt wurden, ergaben ſich faſt genau dieſelben Werthe für e, und daraus ſchloß Wheatſtone, daß die elektromotoriſche Gegenkraft als conſtant betrachtet werden könne. E iſt hier die elektromotoriſche Kraft von drei zur Säule combinirten Bechern, folglich iſt die elektromotoriſche Kraft eines Bechers $\frac{E}{3} = 30$, ein Werth, welcher kleiner iſt als e. Wheatſtone meint nun darin den Erklärungsgrund für die Erſcheinung zu finden, daß ein einzelnes Element in einem Voltameter keine Waſſerzerſetzung hervorbringen kann.

Dies iſt aber irrig. Die elektromotoriſche Gegenkraft kann nie ſtärker werden als die Urſache, welche ſie hervorruft, und man muß deshalb annehmen, daß die elektromotoriſche Gegenkraft von der Stromſtärke abhängig iſt. Dann aber kann der Strom eines einzelnen Elementes allerdings eine Waſſerzerſetzung hervorbringen, wenn ſie gleich meiſtens ſehr gering iſt. Als z. B. in den Schließungsbogen eines Daniell'ſchen Elementes ein Voltameter eingeſchaltet wurde, deſſen Platten ungefähr je 2 Quadratzoll groß waren, erhielt ich eine ſehr merkliche Gasentwickelung.

Daß die elektromotoriſche Gegenkraft im Voltameter wirklich von der Stromſtärke abhängt, zeigt ſich ſehr auffallend an einer Verſuchsreihe, welche ich

zu dieſem Zweck anſtellte. Wie bereits oben angeführt wurde, fand ich die elektromotoriſche Kraft einer Säule von 6 Zinkkohlenelementen

$$E = 4422,$$

und die elektromotoriſche Gegenkraft

$$e = 1000.$$

Die elektromotoriſche Kraft jedes einzelnen Elementes iſt $^{4422}/_{6} = 747$, alſo allerdings kleiner als die elektromotoriſche Gegenkraft im Voltameter.

Es wurde nun die elektromotoriſche Kraft einer Säule von vier ſolchen Zinkkohlenelementen beſtimmt; es ergab ſich

$$E = 3124.$$

Nach Einſchaltung des Voltameters ergab ſich für die elektromotoriſche Kraft nur noch

$$E' = 2427,$$

es iſt alſo hier

$$e = E - E' = 700.$$

Hier, bei einem ſchwächeren Strom ergiebt ſich alſo die elektromotoriſche Gegenkraft ſchon merklich kleiner, ja ſie iſt in dieſem Falle ſchon kleiner als die elektromotoriſche Kraft eines Elementes.

Für eine Säule von zwei Elementen ergab ſich

$$E = 1604.$$

Nach Einſchaltung des Voltameters

$$E' = 984,$$

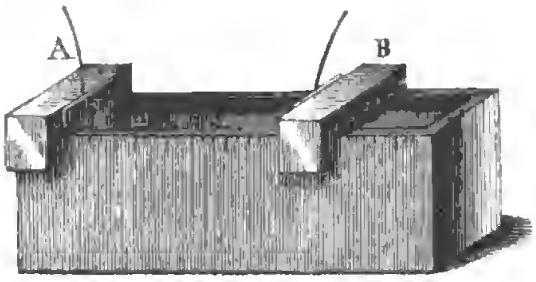
alſo

$$e = E - E' = 620.$$

Die eben mitgetheilten Zahlen machen durchaus keinen Anſpruch auf große Genauigkeit, aber das iſt durch ſie unzweifelhaft dargethan, daß, wie ſich auch vorausſehen ließ, die elektromotoriſche Gegenkraft mit abnehmender Stromſtärke ebenfalls geringer wird. Die elektromotoriſche Gegenkraft iſt demnach eine Function der Stromſtärke, welches aber die Form dieſer Function iſt, muß erſt noch durch genauere Verſuche ermittelt werden.

Daß die Größe der elektromotoriſchen Gegenkraft von der Stromſtärke abhängig iſt, hat zuerſt Poggendorff außer Zweifel geſtellt. (P. A. LXI. 613). Auch Buff (P. A. LXXIII. 497) fand die elektromotoriſche Gegenkraft des Voltameters bedeutender bei dem Strom von 3, als bei dem von nur 2 Zinkkohlenelementen; ferner fand er die Größe der Polariſation durch Einſchaltung größerer Drahtlängen in den Schließungsbogen vermindert.

Fig. 113.



Für den Fall, daß die Elektroden den ganzen Querſchnitt eines Troges ausfüllen, wie Fig. 113, zeigt ſich auch nach Buff die Polariſation etwas größer, wenn die Zerlegungszelle weniger angefüllt iſt. Wenn die Elektroden frei in die ringsum ſie umgebende Flüſſigkeit hineinragen, iſt die Größe der Elektroden ohne Einfluß auf die Größe der Polariſation.

135 **Numeriſche Beſtimmung der Polariſation.** Lenz und Sawelſjev haben eine große Reihe von Verſuchen zur Beſtimmung der galvaniſchen Polariſation in verſchiedenen Fällen angeſtellt (Bull. de la classe phys. math. de l'acad. d. scienc. de St. Petersb. T. V. p. 1. P. A. LXVII. 497). Das Verfahren, welches ſie anwandten, um die Größe der Polariſation in einer Zerſetzungszelle zu beſtimmen, war das, daß ſie nach der Wheatſtone'ſchen Methode (Seite 267) die elektromotoriſche Kraft einer Säule einmal bei metalliſcher Schließung und dann nach Einſchaltung der Zerſetzungszelle beſtimmten. Die Differenz beider Zahlen giebt die Größe der durch die Polariſation in der Zerſetzungszelle hervorgerufenen elektromotoriſchen Gegenkraft an.

Folgendes Beiſpiel mag die Art der Beobachtung erläutern.

Um die Ablenkung der Buſſolennadel von 20° auf 10° herabzubringen, mußte man einſchalten

bei metalliſcher Schließung . . . . . 19,91 Rheoſt. Wind

als in den Schließungsbogen eine Zerſetzungszelle eingeſchaltet wurde, gebildet durch 2 Platinplatt. in Salpeterſ. tauchend 17,37 »

Polariſation der Zerſetzungzelle . . . . . 2,54.

Nach dieſer Methode ergaben ſich folgende Werthe für die galvaniſche Polariſation verſchiedener Zerſetzungszellen:

Kupferplatten in Kupfervitriol	0,07
Amalgamirte Zinkplatten in Salpeterſäure .	0,03
Kupferplatten in Salpeterſäure	0,01.

Dieſe Verſuche beweiſen, daß die Polariſation verſchwindet, wenn die Ausſcheidung von Gaſen an den Elektroden aufhört; in allen drei Fällen tritt an der poſitiven Elektrode kein Sauerſtoff auf, weil er das Metall ſogleich bei ſeiner Ausſcheidung aus den Waſſer oxydirt; die Ausſcheidung von Waſſerſtoffgas an den negativen Elektroden iſt aber im erſten Fall dadurch verhindert, daß der nascirende Waſſerſtoff dem Kupferoxyd ſeinen

Sauerſtoff entzieht und Kupfer metalliſch niederſchlägt; in den beiden andern Fällen dadurch, daß der nascirende Waſſerſtoff ſogleich durch die Salpeterſäure oxydirt wird.

Hier alſo, wo ſich die Elektroden nicht mit Gashüllen bekleiden können, findet keine Polariſation Statt; die geringen Zahlenwerthe, welche wir oben angegeben finden, rühren wohl nicht von einer Polariſation der Elektroden, ſondern daher, daß ſie im Lauf des Verſuchs nicht gleichartig bleiben, indem die eine Platte angefreſſen wird, die andere nicht, und dies veranlaßt, daß das Plattenpaar an und für ſich ſchon eine geringe elektromotoriſche Kraft hat.

Auch Buff fand die Polariſation für Kupferplatten in Kupfervitriol und für Zinkplatten in Zinkvitriol verſchwindend klein. (P. A. LXXIII. 497.)

Lenz und Saweljev fanden nun ferner für die Polariſation von

Platinplatten in Salpeterſäure	2,48
Platinplatten in Schwefelſäure *)	5,46
Amalgamirte Zinkplatten in Schwefelſäure . .	1,00
Kupferplatten in Schwefelſäure	2,15
Zinnelektroden in Schwefelſäure	1,45
Eiſenelektroden in Schwefelſäure	0,33
Graphit in concentrirter Salpeterſäure . .	1,26.

Die hier angegebenen Zahlenwerthe ſind meiſt das Mittel aus mehreren Verſuchen.

In dem erſten Falle, Platinplatten in Salpeterſäure, findet keine Waſſerſtoffablagerung an der negativen Elektrode Statt, die Polariſation im Werth 2,48 iſt alſo lediglich der Polariſation an der poſitiven Elektrode, alſo derjenigen zuzuſchreiben, an welcher das Sauerſtoffgas auftritt; 2,48 iſt demnach die Größe der Polariſation, welche eine Platinplatte durch Sauerſtoff erfährt.

Im zweiten Fall, Platinplatten in Schwefelſäure, findet eine Gasablagerung an beiden Elektroden Statt, der Werth 5,46 iſt alſo die Summe der Polariſationen beider Platten; iſt die Polariſation des Platins durch Sauerſtoff 2,48, ſo bleibt demnach für die Polariſation des Platins durch Waſſerſtoff $5{,}46 - 2{,}48 = 2{,}98$, alſo nahezu 3.

In den vier folgenden Fällen, Zink, Kupfer, Zinn und Eiſen in Schwefelſäure, wird die poſitive Elektrode angegriffen, die entſprechenden Zahlenwerthe ſind alſo die Werthe der Polariſation dieſer Metalle durch Waſſerſtoff. Stellen wir dieſe Reſultate zuſammmen, ſo haben wir für die Polariſation von

*) Dieſe Säure beſtand aus 6 Volumtheilen concentrirter Schwefelſäure auf 100 Theile Waſſer.

Platin in Sauerſtoff	2,48
Platin in Waſſerſtoff	3,00
Zink in Waſſerſtoff	1,00
Kupfer in Waſſerſtoff	2,15
Zinn in Waſſerſtoff	1,45
Eiſen in Waſſerſtoff	0,33
Graphit oder Kohle in Sauerſtoff .	1,25.

Setzt man in den Schließungsbogen einer Säule eine Schließungszelle, welche aus ungleichartigen Platten beſteht, ſo wirkt dieſe ſelbſt wieder elektromotoriſch, und die Wirkung dieſer elektromotoriſchen Kraft der Zerſetzungszelle wird nach Umſtänden mit der Polariſation gleich oder entgegengeſetzt gerichtet ſein. Nehmen wir an, die elektromotoriſche Kraft der Zerſetzungszelle wirke ebenſo wie die Polariſation der elektromotoriſchen Kraft der Säule entgegen, ſo wird die Differenz D, welche die Meſſung der elektromotoriſchen Kraft der Säule ergiebt, je nachdem die Zerſetzungszelle in den Schließungsbogen eingeſchaltet iſt oder nicht, die Summe der elektromotoriſchen Kraft der Zerſetzungszelle und der Polariſation ſeyn, oder es iſt

$$D = e + p,$$

wenn wir mit e die elektromotoriſche Kraft der Zeſetzungszelle, mit p die in ihr auftretende Polariſation bezeichnen. Hat man nun für verſchieden conſtruirte Zerſetzungszellen (etwa beſtehend aus Platin in Salpeterſäure, und Zink in Schwefelſäure, ferner Platin in Salpeterſäure und Kupfer in Kalilöſung) den Werth von D beſtimmt, ſo kann man für dieſe Combination den Werth von e berechnen, wenn man die hierher gehörigen Werthe von p in Abzug bringt. Auf dieſe Weiſe ermittelten Lenz und Sawelјev die elektromotoriſche Kraft folgender Combinationen:

Platin in Salpeterſäure, combinirt mit

Platin in Salzſäure	— 0,26
Platin in Schwefelſäure	— 0,02
Platin in Salpeterſäure	0,00
Graphit in Salpeterſäure	0,01
Gold in Salpeterſäure	0,06
Gold in Schwefelſäure	0,25
Queckſilber in Schwefelſäure	0,7
Queckſilber in ſalpeterſaurem Queckſilberoxydul	0,79
Platin in Kalilöſung	1,20
Reines Kupfer in Schwefelſäure . . .	1,39
Etwas oxydirtes Kupfer in Schwefelſäure	1,75
Kupfer in Kupfervitriol	2,00
Gold in Kalilöſung	2,31

Zinn in Salzſäure	2,38
Eiſen in Salzſäure	2,75
Graphit in Kalilöſung	2,84
Eiſen in Schwefelſäure	2,92
Zinn in Schwefelſäure	2,95
Kupfer in Kalilöſung	3,10
Zinn in Kalilöſung	3,94
Zink in verdünnter Salpeterſäur	4,05
Zink in verdünnter Salzſäure	4,07
Zink in Schwefelſäure	4,17
Eiſen in Kalilöſung	4,65
Zink in Kalilöſung	5,48.

Für Zink in Schwefelſäure und Kupfer in Kupfervitriol fanden die beiden Petersburger Phyſiker die elektromotoriſche Kraft 2,17. Dies giebt uns nun einen Anhaltspunkt, um die eben mitgetheilten Zahlenwerthe für Polariſation und elektromotoriſche Kraft auf unſere (chemiſche) Einheit zu reduciren. Wir haben nämlich für die elektromotoriſche Kraft eines Daniell'ſchen Elementes den Werth 470 (Seite 256) gefunden, wir müſſen alſo die Zahlenwerthe, wie ſie Lenz und Sawelјev angeben, mit $\frac{470}{2,17} = 217$ multipliciren, um ſie auf chemiſches Maaß zu reduciren.

Für die elektromotoriſche Kraft eines Grove'ſchen Elementes (Platin in Salpeterſäure, Zink in Schwefelſäure) fanden ſie die elektromotoriſche Kraft 4,17, alſo nach chemiſchem Maaß 4,17 . 217 = 905.

Für die Polariſation verſchiedener Metallplatten ergeben ſich demnach, in chemiſchem Maaß ausgedrückt, folgende Werthe:

Platin in Sauerſtoff	538
Platin in Waſſerſtoff	651
Zink in Waſſerſtoff	217
Kupfer in Waſſerſtoff	466
Zinn in Waſſerſtoff	314
Eiſen in Waſſerſtoff	72
Kohle in Sauerſtoff	271,

für die Geſammtpolariſation der beiden Platinelektroden in verdünnter Schwefelſäure

1185,

während ich für dieſen Fall die Zahl

1000

gefunden habe. (Seite 316.)

Polariſation an platinirten Platinplatten. Poggendorff[136] machte zufällig die Beobachtung, daß in einem Element der Grove'ſchen

Gasſäule, welches in den Schließungsbogen eines Grove'ſchen Elementes eingeſchaltet wurde, eine unerwartet bedeutende Gasentwickelung ſtattfand, während ein einfaches Grove'ſches Element, durch ein Voltameter mit blanken Platinplatten geſchloſſen, nur eine höchſt unbedeutende Waſſerzerſetzung lieferte (P. A. LXX. 183.)

Um meſſende Vergleichungen anſtellen zu können, conſtruirte er ein Voltameter mit platinirten Platinplatten, welches er mit einem gewöhnlichen Voltameter verglich. Das Voltameter mit blanken Platten lieferte im Schließungsbogen eines Grove'ſchen Elementes in 30 Minuten

0,89 Kubikcentimeter Knallgas,

während das Voltameter mit platinirten Platten unter denſelben Umſtänden

77,68 Kubikcentimeter Gas,

alſo faſt 87mal ſo viel lieferte.

Dies kann nur daher rühren, daß die Polariſation an platinirten Platten bedeutend geringer iſt als an blanken. Poggendorff hat dies durch directe Meſſungen bewieſen.

Die elektromotoriſche Kraft einer Säule von zwei Grove'ſchen Elementen ergab ſich $= 64$; nach Einſchaltung des Voltameters mit platinirten Platten war ſie noch 31, es war mithin die Polariſation an den platinirten Platten

$$64 - 31 = 33.$$

Als an die Stelle des Voltameters mit platinirten Platten das mit blanken Platinplatten geſetzt wurde, ergab ſich die elektromotoriſche Kraft der geſammten Kette gleich 22, alſo die Polariſation an den blanken Platinplatten

$$64 - 22 = 42.$$

Auf Seite 284 iſt angeführt, daß die elektromotoriſche Kraft eines Grove'ſchen Elementes als Mittel aus den Beobachtungen verſchiedener Phyſiker nach chemiſchem Maaß 777 ſei; demnach iſt die elektromotoriſche Kraft von zwei Elementen gleich 1554; auf chemiſches Maaß reducirt, iſt demnach der Werth der Polariſation der blanken Platten, welchen Poggendorff fand,

$$42 \cdot \frac{1554}{64} = 1020,$$

was mit dem Werth der Polariſation, wie er oben auf Seite 316. angegeben iſt, ſehr nah übereinſtimmmt.

Für platinirte Platten iſt demnach die Polariſation nach chemiſchem Maaß

$$33 \frac{1554}{64} = 801.$$

Auch Poggendorff fand, wie bereits auf Seite 327 erwähnt wurde, daß die Stärke der Polariſation mit der Stromſtärke abnimmt; als durch

Vergrößerung des außerweſentlichen Widerſtandes die Stromſtärke ſo geſchwächt wurde, daß die Nadel der in den Schließungsbogen eingeſchalteten Sinusbuſſole von 47° 49′ auf 5° 44′ zurückging, nahm die Polariſation im Voltameter von 42 bis 38, oder nach chemiſchem Maaß von 1020 bis 922 ab.

Nach Poggendorff's Verſuchen iſt bei platinirten Platten die Größe der Polariſation nur ſehr wenig von den Veränderungen der Stromſtärke abhängig, ſo daß man ſie ohne merkliche Fehler als conſtant annehmen kann.

Auch Svanberg hat viele Verſuche über galvaniſche Polariſation und zwar mit großer Sorgfalt und Genauigkeit angeſtellt. (P. A. LXXIII. 298.) Für die Polariſation, welche der Strom von vier Daniell'ſchen Elementen in einem Voltameter mit blanken Platinplatten hervorbringt, fand er, auf chemiſches Maaß reducirt, den Werth

1072.

Svanberg machte die Bemerkung, daß die Polariſation im Voltameter allmälig wächſt, und daß es einige Zeit dauert bis ſie ihr Maximum erreicht. Um nun das Maximum der Polariſation richtig zu beſtimmen, machte er ſeine Meſſungen erſt, nachdem der Strom einige Stunden lang durch das Voltameter hindurchgegangen war.

Metallplatten mit rauhen Oberflächen ergaben nach ſeiner Meſſung eine geringere Polariſation als polirte, was wohl mit Poggendorff's Beobachtung in Zuſammenhang ſteht, daß die Polariſation an platinirten Platinplatten geringer iſt, als an blanken. Die Polariſation von Kupferplatten durch Waſſerſtoffgas fand Svanberg im Verhältniß von 12 zu 8 geringer, wenn dieſe Platten rauh gefeilt, oder noch beſſer durch galvaniſch gefälltes Kupfer feinkörnig gemacht, als wenn ſie polirt waren.

Buff's Unterſuchungen über galvaniſche Polariſation. Einzelne Reſultate der Unterſuchungen, welche Buff über galvaniſche Polariſation anſtellte, wurden bereits Oben erwähnt, wir müſſen jedoch hier noch Einiges aus ſeiner Abhandlung hervorheben. (P. A. LXXIII. 497.) 137

Buff führt an, daß eine Ablenkung von 45° an ſeiner Tangentenbuſſole einer Waſſerſtoffentwickelung von 21,08 C.C. in der Minute entſpreche (reducirt auf 0° Temperatur und 760^{mm} Druck?), was einer Knallgasentwickelung von 31,6 C.C. gleich iſt; ſeine Stromſtärken werden demnach auf chemiſches Maaß reducirt, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit 31,6 multiplicirt.

Buff findet im Laufe dieſer Unterſuchung die elektromotoriſche Kraft eines Daniell'ſchen Elementes gleich 4,207; da bei zu Grundlegung unſerer Einheiten die elektromotoriſche Kraft dieſes Elementes 470 iſt, ſo muß man alſo Buff's Angaben der elektromotoriſchen Kraft ſowohl, als auch

ſeine Polariſationswerthe mit $\frac{470}{4{,}207} = 111$ multipliciren, um ſie mit unſern vergleichbar zu machen. Buff's Vergleichung zwiſchen Stromſtärke und Polariſationsgröße in einem Voltameter mit blanken Platinplatten gab (auf unſere Einheiten übertragen) folgende Reſultate:

Stromſtärke.	Polariſation.
43,7	1256
19,7	1165
11,5	1132
8,0	1118
4,4	1069.

Bei dieſen Verſuchen bildeten die Platinelektroden die gegenüberſtehende Seite eines Troges; die vorſtehenden Zahlen beziehen ſich auf den Fall, daß der Trog bis zu einer Höhe von 45 Millimeter angefüllt war.

Bei einer Anfüllungshöhe von 10 Millimeter ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe von Stromſtärke und Polariſation:

Stromſtärke.	Polariſation.
20,5	1199
11,5	1170.

Unter ſonſt gleichen Umſtänden ergab ſich alſo die Polariſation etwas größer bei geringerer als bei größerer Anfüllungshöhe des Troges, wie es bereits auf Seite 328 angeführt wurde.

Buff bemerkt ebenfalls, daß der Eintritt des Maximums der Polariſation immer einige Zeit erfordere.

Für eine Zerlegungszelle, gebildet aus zwei Zinkplatten in einer Auflöſung von Zinkvitriol ſtehend, fand Buff den Polariſationswerth

$$p = 0{,}85,$$

nach unſern Einheiten

$$p = 94.$$

An dieſes Reſultat ſchließt er folgende Betrachtungen an:

»Ich betrachte $p = 0{,}85$ als die elektriſche Differenz des Zinks und »Waſſerſtoffs, oder doch als einen Näherungswerth derſelben. Ebenſo be»trachte ich den Polariſationswiderſtand der Platinplatten in verdünnter »Schwefelſäure als einen Näherungswerth für die elektriſche Differenz des »Sauerſtoffs und Waſſerſtoffs. Denn durch die Waſſerſtoffſchicht an der »negativen Platinplatte, ſo wie durch die Sauerſtoffſchicht an der poſitiven »Platinplatte wird daſſelbe bewirkt, wie wenn nicht zwei Platinſtreifen, ſon»dern ein Streifen feſten Waſſerſtoffs und ein Streifen feſten Sauerſtoffs »in die Säure waren eingeführt worden. — — — Die bei unmittelbarer »Berührung von Waſſerſtoff und Sauerſtoff geweckte elektromotoriſche »Thätigkeit, oder die elektriſche Differenz beider Stoffe bezeichnet demnach

»die äußerſten Gränzen des Widerſtandes, der durch die Polariſation zweier »Metalle im Zerſetzungsgefäße überhaupt entſtehen kann. Man wird ſich »dieſer Gränze um ſo mehr nähern, je vollſtändiger die eingetauchten Plat»ten ſich mit den Gaſen zu bekleiden vermögen, und je vollſtändiger dadurch »die unmittelbare Berührung der metalliſchen mit den flüſſigen Leitern ver»mieden wird.«

In derſelben Abhandlung finden wir nun ferner mehrere Verſuchsreihen, welche die Abweſenheit der Polariſation in allen Fällen darthun, in denen die Ablagerung der Gaſe an den Elektroden verhindert wird, was bereits Seite 329 erwähnt wurde.

Verminderung der Polariſation durch Erwärmung der Flüſ- 138
ſigkeit. In der Biblioth. univers. Febr. 1837 p. 388. beſchreibt De la Rive folgenden Verſuch. In den Schließungsbogen einer Säule von vier Elementen ſchaltete er außer einem Galvanometer eine Zerſetzungszelle ein, welche aus zwei Platinplatten, in ein Glas mit Waſſer getaucht, beſtand; das Galvanometer zeigte eine Ablenkung von 12°. Nun brachte er unter die poſitive Polplatte, an welcher ſich Sauerſtoffgas entwickelte, eine ſtarke Alkoholflamme, ſo daß dieſe Platte zu glühen anfing und der in die Flüſſigkeit tauchende Theil durch Mittheilung hinlänglich erwärmt wurde, um dieſe zum Kochen zu bringen (wahrſcheinlich war alſo die Platinplatte ſo ⌝ umgebogen). Es war keine Veränderung in der Ablenkung bemerkbar; daſſelbe geſchah mit der negativen Platte, und nun ſtieg die Nadel auf 30°. Nach Wegnahme der Lampe ſank die Ablenkung wieder auf 12°.

Als das Waſſer durch verdünnte Schwefelſäure erſetzt wurde, war die urſprüngliche Ablenkung 45°, ſie ſtieg durch Erwärmung der negativen Platte auf 80°, während die Erwärmung der poſitiven Platte abermals keinen Einfluß hatte.

De la Rive ſchließt daraus, daß die Wärme keinen Einfluß habe auf den Uebergang des elektriſchen Stromes aus einem Metall in eine Flüſſigkeit, daß ſie aber den Uebergang deſſelben aus einer Flüſſigkeit in ein Metall merklich befördere.

Gegen dieſe ſonderbare Meinung tritt nun Vorſſelman de Heer auf. Er ſchreibt die Wirkung nicht direct der Wärme, ſondern der durch das Kochen der Flüſſigkeit hervorgebrachten Bewegung derſelben zu, durch welche die polariſirenden Gaſe von den Elektroden mit fortgeſpült werden. Er unterſtützt ſeine Anſicht durch die Thatſache, daß man auch ohne Wärme dieſelbe Wirkung hervorbringen kann, wenn man die Platte nur ein wenig in der Flüſſigkeit erſchüttert, oder auch die Flüſſigkeit in der Nähe der Platten durch einen Glasſtab in Bewegung bringt.

Er nahm eine Volta'ſche Säule von fünf Paaren mit reinem Waſſer geladen. Zwei Platindrähte, die Pole der Säule bildend, tauchten in

ein Glas mit deſtillirtem Waſſer; das in die Kette gebrachte Galvanometer zeigte 45°, doch nahm dieſe Ablenkung in Folge der wachſenden Polariſation raſch ab, ſie ſtieg aber ſtets wieder, wenn man den negativen Draht erſchütterte; ſie war

nach 15 Min. 34° — nach Erſchütterung des negativen Drahtes 40°,
» 30 » 16° — » » » » » 38°,
» 60 » 4° — » » » » » 32°.

Die Erſchütterung des poſitiven Drahtes hatte keinen Einfluß.

Aehnliche, wenn auch weniger auffallende Reſultate wurden mit Kupferdrähten erhalten.

Gewiß iſt die Erklärung Vorſſelman's die richtige, doch läßt er den Umſtand unerklärt, warum die Erwärmung oder Erſchütterung des poſitiven Poldrahtes ohne Einfluß iſt. Sollte wohl der Sauerſtoff feſter an den Platinplatten haften als der Waſſerſtoff?

Nach einer Notiz im »Jahresbericht über die Fortſchritte der Chemie, Phyſik u. ſ. w. von Liebig und Kopp. Gießen 1849, Seite 297.« hat Becker in Gießen die Abnahme der Polariſation bei ſteigender Temperatur der Zerſetzungsflüſſigkeit genauer unterſucht; doch iſt ſeine Arbeit noch nicht veröffentlicht.

139 **Urſache der galvaniſchen Polariſation.** Einer der erſten, welche gegen die Hypotheſe eines Uebergangswiderſtandes auftraten und dagegen die Exiſtenz einer elektromotoriſchen Gegenkraft im Voltameter zu begründen ſuchten, war Schönbein. Während alle bisher betrachteten Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand ſich auf die Beziehungen der Stromleitung durch Elektrolyte zu dem Ohm'ſchen Geſetze ſtützen, während man auf dieſem Wege indirect zu der Anſicht geführt wurde, daß die galvaniſche Polariſation den die Elektroden bedeckenden Gasſchichten zuzuſchreiben ſey, faßt Schönbein den Gegenſtand von einer ganz andern Seite auf, und ſucht direct den polariſirenden Einfluß der Gaſe auf Metallplatten nachzuweiſen.

Die wichtigſten hierher gehörigen Aufſätze Schönbein's ſind folgende:

Beobachtungen über die elektriſche Polariſation feſter und flüſſiger Leiter (P. A. XLVI. 109.).

Neue Beobachtungen über Volta'ſche Polariſation feſter und flüſſiger Leiter (P. A. XLVII. 101.).

Ueber Volta'ſche Polariſation feſter und flüſſiger Körper (P. A. LVI. 135.).

Ich will in dem Folgenden die weſentlichſten Reſultate der Schönbein'ſchen Unterſuchungen zuſammenſtellen, ohne gerade über den Inhalt dieſer Abhandlungen im Einzelnen zu berichten.

Der auf Seite 199 des 2ten Bandes meiner Phyſik (3te Auflage) an-

geführte Verſuch, daß wenn man durch ein Voltameter den Strom einer Kette hat gehen laſſen, und man dann raſch nach Unterbrechung des Stromes jede der beiden Voltameterplatten mit einem Drahtende eines Multiplicators in Berührung bringt, daß alsdann dieſer Multiplicator einen Strom anzeigt, welcher das Voltameter in entgegengeſetzter Richtung durchläuft, wie der urſprüngliche Strom der Kette; dieſer Verſuch, welcher bereits 1827 von de la Rive angeſtellt wurde, beweiſt nur, daß in dem Voltameter durch den primären Strom eine elektromotoriſche Gegenkraft erzeugt wird; er giebt uns aber keinen Aufſchluß über Grund und Urſache derſelben.

Becquerel ſtellt nun die Behauptung auf, daß nur in dem Falle der fragliche ſecundäre Strom eintrete, wo die Poldrähte in eine ſaliniſche Flüſſigkeit eintauchen. Unter dieſen Umſtänden, ſagt Becquerel, zerſetze ſich das Salz, die Baſis häufe ſich um die negative, die Säure um die poſitive Elektrode an, und bringe man die Drähte nach der Abtrennung von der Säule in leitende Verbindung, ſo entſtehe ein Strom in Folge der Wiederverbindung von Säure und Baſis.

Schönbein zeigte nun, daß zur Hervorbringung des ſecundären Stromes keineswegs ſaliniſche Flüſſigkeiten nothwendig ſind, daß der Verſuch mit reinem durch reine Schwefelſäure nur ganz ſchwach geſäuertem Waſſer vollkommen gelingt, ſelbſt wenn die Platinelektroden nur momentan mit der Säule communicirten.

Dieſe ſecundären Ströme ſind keineswegs von nur augenblicklicher Dauer, ſie währen je nach Umſtänden längere oder kürzere Zeit. In einem Fall, in welchem die urſprüngliche Ablenkung der Galvanometernadel durch den ſecundären Strom 80° betrug, dauerte es 4 Minuten, ehe derſelbe ganz verſchwand; bei einer anfänglichen Ablenkung von 160° dauerte es 30 Minuten.

Schönbein brachte den ſecundären Strom mit Elektroden von Gold eben ſo gut hervor, wie mit ſolchen von Platin. Wurden Eiſendrähte ſtatt Platin und Kalilöſung ſtatt Schwefelſäure angewendet, ſo zeigte ſich der ſecundäre Strom gleichfalls; Verſuche mit verſilberten Kupferdrähten, Zink und andern Metallen gaben gleiche Reſultate, ſo daß es in hohem Grade wahrſcheinlich iſt, daß alle metalliſchen Leiter die Fähigkeit beſitzen, elektriſch polariſirt zu werden.

In dem zweiten der oben erwähnten Aufſätze (P. A. XLVII. 101.) gelangt nun Schönbein zur Erklärung des Phänomens. Die wichtigſten Thatſachen, welche zu derſelben führen, ſind folgende:

1) Werden Platindrähte oder Platten, welche kürzere oder längere Zeit in reinem Waſſer, oder in Waſſer mit Schwefelſäure oder Salzſäure verſetzt, als Elektroden gedient haben, in einer Weingeiſtflamme bis zum

Rothglühen erhitzt, ſo verlieren ſie ihr elektromotoriſches Vermögen vollſtändig.

2) Wird die poſitiv polariſirte Polplatte, alſo die, welche als negative Elektrode gedient hat, nur auf einige Augenblicke in eine Chlor- oder Bromatmoſphäre gebracht, ſo wird ihre elektromotoriſche Kraft völlig vernichtet; daſſelbe Reſultat wird auch durch ein längeres Eintauchen in Sauerſtoffgas erhalten.

3) Ein negativ polariſirter Platindraht verliert ſeine elektromotoriſche Kraft, wenn man ihn einige Secunden lang in eine Waſſerſtoffatmoſphären taucht.

4) Durch Eintauchen poſitiv oder negativ polariſirter Platinplatten in eine Luftart, welche weder auf Sauerſtoffgas noch auf Waſſerſtoffgas in Gegenwart von Platin chemiſch einwirkt, wird die elektromotoriſche Kraft der Platten nicht aufgehoben.

5) Eine Platinplatte, welche nur wenige Secunden lang in eine Atmoſphäre von Waſſerſtoffgas eingetaucht war, iſt poſitiv polariſirt.

6) Gold- und Silberdrähte erlangen kein elektromotoriſches Vermögen, wenn man ſie in Waſſerſtoffgas eintaucht.

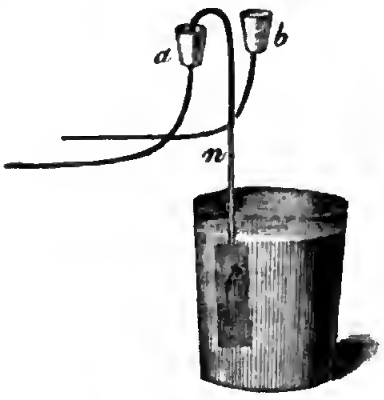
7) Ein Platindraht in Sauerſtoffgas gebracht, wird nicht negativ polariſirt, eben ſo wenig Gold und Silber.

8) Platin, Gold und Silber, nur für einige Augenblicke in gasförmiges Chlor gebracht, werden negativ polariſirt. Bromgas übt auf die genannten Metalle die gleiche Wirkung aus.

Ehe wir zur weitern Beſprechung dieſer Thatſachen übergehen, wollen wir noch die zweckmäßigſte Art betrachten, auf welche man die elektriſche Polariſation einer Metallplatte nachweiſen kann.

In ein Queckſilbernäpfchen *a*, welches mit dem einen Drahtende eines Multiplicators in Verbindung ſteht, iſt der Draht einer Platinplatte *p* eingetaucht, welche vorher wohl gereinigt ſeyn muß, und die in ein Gefäß mit etwas angeſäuertem Waſſer herabhängt. Hängt man in das Näpfchen *b* den Draht einer zweiten ganz gleichen Platinplatte, welche vorher ebenfalls gehörig gereinigt wurde, und die auch in die ſaure Flüſſigkeit eintaucht, ſo bleibt natürlich die Nadel vollkommen ruhig, da ſich ja die beiden Platinplatten elektromotoriſch vollkommen gleich verhalten. — Iſt aber die zweite Platinplatte, welche mit *p'* be-

Fig. 114.



zeichnet werden mag, auf irgend eine der eben beſprochenen Arten polariſirt worden, ſo entſteht ein Ausſchlag der Galvanometernadel, aus deren Richtung man auf die Richtung des Stromes ſchließen kann.

War z. B. die Platinplatte p' in Waſſerſtoffgas eingetaucht geweſen, ſo verhält ſie ſich elektropoſitiv gegen die andere, d. h. das Galvanometer zeigt einen Strom an, der von p' durch die Flüſſigkeit nach p geht. Wird die Platinplatte p' in Chlorgas eingetaucht, ſo zeigt der Ausſchlag der Nadel, daß p' elektronegativ gegen p iſt.

Hat die Platinplatte p' als negative Polplatte zur Waſſerelektrolyſe gedient, ſo verhält ſie ſich genau eben ſo, als ob ſie in eine Flaſche mit Waſſerſtoffgas getaucht geweſen wäre, d. h. zur Schließung des Apparates, Fig. 114, angewandt, wird ſie einen Strom hervorbringen, welcher von p' durch die Flüſſigkeit nach p geht.

Alle die Erſcheinungen, welche wir ſo eben betrachtet haben, deuten darauf hin, daß die Gasſchicht, welche ſich bei der Elektrolyſation an den Elektroden ausſcheidet, wirklich die Urſache der galvaniſchen Polariſation ſey. — Iſt eine ſolche Gasſchicht die Urſache der Polariſation, ſo verſteht ſich von ſelbſt, daß ſie durch Glühen der Metallplatte vernichtet wird. Dieſer Umſtand allein würde jedoch noch nichts beweiſen, weil die Glühhitze denkbarer Weiſe zerſtörend auf die Polarität wirken könnte, auch wenn dieſe von andern Urſachen, als von einer Gasſchicht, abhinge. Entſchiedener ſpricht ſchon der zweite Verſuch. Daß die poſitive Polarität eines Platindrahtes augenblicklich durch Chlor vernichtet wird, läßt ſich kaum anders, als durch die chemiſche Einwirkung des Chlors auf den Waſſerſtoff erklären, durch welche unter Bildung von Salzſäure jede Spur von Waſſerſtoffgas entfernt wird. Beim Eintauchen in Sauerſtoff wird das an der Platinplatte haftende Waſſerſtoffgas durch die Mitwirkung der Platinplatte zur Verbindung mit dem Sauerſtoff veranlaßt und dadurch gleichfalls die Urſache der Polariſation entfernt. Daß der Sauerſtoff die poſitive Polarität nicht ſo ſchnell vernichtet wie Chlor, hat in der langſamen Action des Sauerſtoffs auf den Waſſerſtoff ſeinen Grund.

Die unter 4. angeführte Thatſache ſpricht ebenfalls zu Gunſten der Anſicht, daß die Urſache des polaren Zuſtandes der Elektroden in Waſſerſtoff und Sauerſtoff liege, welche an denſelben hängen; zur völligen Gewißheit dürfte dieſe Vorausſetzung aber durch das Factum erhoben werden, welches unter Nr. 5. angeführt iſt. Wenigſtens ſcheint durch letzteres unwiderleglich bewieſen zu ſeyn, daß die poſitive Polarität der negativen Elektroden von Waſſerſtoff herrühre. — Ein Platindraht, welcher gar nicht als negativer Pol gedient hat und dem Einfluß des Stromes auf keinerlei Weiſe unterworfen war, erlangt durch den Umſtand allein, daß

er nur wenige Secunden mit Waſſerſtoff in Berührung geſtanden, alle Volta'ſchen Eigenſchaften eines poſitiv galvaniſirten Drahtes.

Durch dieſe Verſuche hat Schönbein in der That den Schleier gehoben, welcher bis dahin das Weſen der galvaniſchen Polariſation verhüllte.

Nur zwei der oben mitgetheilten Thatſachen, nämlich die unter 6. und 7. angeführten ſcheinen der oben angedeuteten Erklärung zu widerſprechen.

Während eine Platinplatte, welche als poſitive Elektrode gedient hat, negativ polariſirt iſt, kann man dieſe Polariſation durch Eintauchen in Sauerſtoffgas nicht hervorbringen; dies deutet darauf hin, daß die negative Polarität der poſitiven Polplatte nicht dem Sauerſtoffgas zuzuſchreiben ſey.

Der Umſtand, daß Gold- und Silberdrähte in Waſſerſtoffgas nicht elektropoſitiv werden, während dieſelben Metalle, wenn ſie nur auf wenige Secunden die Rolle der negativen Elektroden geſpielt haben, merklich poſitiv polariſirt erſcheinen, erregt wenigſtens Zweifel gegen die Anſicht, als ob dem Waſſerſtoffgas die poſitive Polariſation der negativen Elektroden beizumeſſen ſey.

Bevor wir zur nähern Betrachtung dieſes Umſtandes übergehen, wollen wir zunächſt die Polariſation der Flüſſigkeiten betrachten, welche Schönbein gleichfalls in den oben angeführten Aufſätzen beſpricht.

140 **Polariſation flüſſiger Körper.** Wird verdünnte Salzſäure oder verdünnte Schwefelſäure, in einer Uförmig gebogenen Röhre enthalten, durch Platinelektroden einige Secunden lang mit den Polen einer Säule verbunden, deren Strom eine merkliche Gasentwicklung in der ſauren Flüſſigkeit veranlaßt, erſetzt man hierauf die gebrauchten Drähte durch neue, d. h. durch ſolche, die noch nicht als Poldrähte gedient haben, und verbindet man durch dieſelben die Säure mit dem Galvanometer, ſo weicht die Nadel dieſes Inſtrumentes ab und zwar nach einer Richtung, welche anzeigt, daß der poſitive Strom von derjenigen Flüſſigkeitsſäule, in welche der negative Poldraht eingetaucht war, nach derjenigen geht, in welcher die poſitive Elektrode ſich befand, oder, mit andern Worten, dieſer ſecundäre Strom iſt dem Strom der Säule entgegengeſetzt.

Hier zeigen alſo die Flüſſigkeitsſäulen eine galvaniſche Polariſation.

Der Grund und das Weſen dieſer Polariſation wird durch folgende Verſuche erläutert:

1) Wird Waſſer (durch etwas Schwefelſäure leitender gemacht) mit Waſſerſtoffgas geſchüttelt, dieſe Flüſſigkeit in eine unten mit einer Blaſe verbundene Röhre gebracht, letztere in ein Gefäß geſtellt, welches ebenfalls etwas angeſäuertes, aber von Waſſerſtoff freies Waſſer enthält, und verbindet man beide Flüſſigkeiten durch Platindrähte mit dem Galvanometer, ſo erhält man einen Strom, welcher von der Waſſerſtofflöſung zur andern

Flüſſigkeit geht. Es verhält ſich mit andern die waſſerſtoffhaltige Flüſſigkeit zur andern, wie Zink zum Kupfer. — Wendet man zu dieſen Verſuch Gold- oder Silberdrähte an, ſo erhält man keinen Strom.

2) Wird der Verſuch ganz unter denſelben Umſtänden angeſtellt, nur mit dem Unterſchiede, daß die Flüſſigkeit in dem Röhrchen Sauerſtoff anſtatt Waſſerſtoff aufgelöſt enthält, ſo erhält man keinen Strom, mögen nun die Verbindungsdrähte von Platin, Gold oder Silber ſeyn.

3) Enthält die Flüſſigkeit im Röhrchen etwas Chlor oder Brom anſtatt Waſſerſtoff aufgelöſt, ſo erhält man einen Strom, welcher von dem weiteren Gefäße in das Röhrchen übergeht, mag man den Verſuch mit Platin-, Gold- oder Silberdrähten anſtellen.

4) Läßt man durch Schwefelſäure haltiges Waſſer, welches ſich in einer Uförmigen Röhre befindet, den Strom einer Säule gehen, ſo liefert dieſe Flüſſigkeit nur in dem Falle einen ſecundären Strom, wenn man die Verbindung mit dem Galvanometer durch Platindrähte herſtellt. Bei Anwendung von Gold- oder Silberdrähten zeigt die Multiplicatornadel nicht die mindeſte Ablenkung.

5) Stellt man den Verſuch wie bei 4. an, nimmt man verdünnte Salzſäure ſtatt der verdünnten Schwefelſäure, ſo erhält man einen ſecundären Strom, auch wenn man zur Schließung Gold- oder Silberdrähte anwendet.

Die Verſuche unter 1., 3. und 5. deuten auch hier darauf hin, daß die Urſache der Polariſation in den Gaſen zu ſuchen ſey, welche im Waſſer aufgelöſt ſind.

Die Fälle, in welchen die mit Gaſen behandelten Flüſſigkeiten keinen Polariſationsſtrom geben (alſo Nr. 2. und 4.), entſprechen ganz den ſchon oben beſprochenen Fällen, daß Metalldrähte oder Platten, welche in Gaſe eingetaucht waren, keinen Polariſationsſtrom hervorzubringen im Stande ſind, alſo den Fällen Nr. 6. und 7. auf Seite 338. — Soll nun der Beweis geliefert werden, daß die an den Metallplatten haftenden Gasſchichten oder die in Flüſſigkeiten aufgelöſten Gaſe die Urſache der galvaniſchen Polariſation ſind, ſo muß noch erklärt werden, warum wohl in dieſen Fällen die Wirkung ausbleibt. Im Weſentlichen iſt Schönbein's Anſicht über dieſen Gegenſtand folgende:

Schönbein's Theorie der galvaniſchen Polariſation. Wenn in 141
eine Flüſſigkeit zwei gleiche Metallplatten eingetaucht ſind, von denen die eine rein, die andere mit einer Gasſchicht überzogen iſt; oder wenn zwei gleiche Metallplatten eingetaucht ſind in die beiden Schenkel einer Uförmigen Röhre, welche mit gleicher Flüſſigkeit angefüllt ſind, nur mit dem einen Unterſchiede, daß in der Flüſſigkeit des einen Schenkels ein Gas aufgelöſt iſt, auf der andern Seite aber nicht, ſo iſt die zwiſchen beiden Seiten ſtattfindende Ungleichheit Grund genug zum Auftreten einer elektriſchen

Spannung. Dieſe elektriſche Spannung kann nun zur Ausgleichung kommen, ſie wird einen elektriſchen Strom veranlaſſen, ſobald eine metalliſche Verbindung zwiſchen beiden Platten hergeſtellt wird. Damit aber ein ſolcher Strom den Multiplicatordraht durchlaufen könne, muß er auch durch die Flüſſigkeit hindurchgehen, welche ohne Elektrolyſe nicht den mindeſten Strom zu leiten im Stande iſt. Das Auftreten des Polariſationsſtromes iſt alſo weſentlich daran gebunden, daß die Elektrolyſe der Flüſſigkeit wirklich ſtattfindet; in allen Fällen nun muß der Strom ausbleiben, in welchen die elektriſche Differenz an den beiden Gränzflächen nicht hinreicht, um die Elektrolyſe einzuleiten.

Iſt z. B. das mit Schwefelſäure angeſäuerte Waſſer auf einer Seite durch eine reine, auf der andern Seite durch eine mit einer Schicht von Waſſerſtoffgas überzogene Gold- oder Silberplatte begränzt, ſo tritt bei metalliſcher Verbindung der beiden Metallplatten kein Strom ein, weil der Waſſerſtoff der einen Goldplatte nicht im Stande iſt, dem nächſten Waſſertheilchen ſeinen Sauerſtoff zu entziehen und dadurch die Elektrolyſe durch die ganze Flüſſigkeitsſchicht einzuleiten; wendet man aber ſtatt der Goldplatten Platin an, ſo leitet das eigenthümliche Verhalten dieſes Metalles zum Waſſerſtoff und Sauerſtoff die Elektrolyſe ein, es veranlaßt, daß der Waſſerſtoff, welcher der Platinplatte zunächſt iſt, den benachbarten Waſſertheilchen ihren Sauerſtoff entzieht und ſo die Zerſetzung und Wiederbildung des Waſſers bis zur andern Platte veranlaßt. So erklärt ſich denn auch, daß der Verſuch Nr. 1., Seite 337, mit Platinplatten gelingt, mit Gold- und Silberplatten aber nicht.

Schönbein hält es nicht für unwahrſcheinlich, daß dieſer Vorgang durch ein Waſſerſtoffſuboxyd vermittelt werde, deſſen Waſſerſtoff ſtärker desoxydirend wirke, als reiner Waſſerſtoff, wie denn auch das dritte Sauerſtoffatom der Superoxyde eine weit größere Verwandtſchaft zu oxydirbaren Körpern zeigt, als reiner Sauerſtoff.

Eine in Chlorgas getauchte Platinplatte, mit einer reinen voltaiſch in verdünnter Schwefelſäure combinirt, liefert einen Strom, weil bei dieſer Combination die Verwandtſchaft des Chlors hinreichend ſtark iſt, um dem nächſten Waſſermolecul ſeinen Waſſerſtoff zu entziehen und Salzſäure zu bilden, wodurch dann die Elektrolyſe des Waſſers auf dem ganzen Wege zur anderen Platte eingeleitet wird. Auch wenn man Gold oder Silberplatten zu dieſem Verſuch anwendet, iſt das Chlor noch im Stande, das Waſſer zu zerlegen, daher auch in dieſem Falle der Strom, welcher natürlich in der Richtung fortſchreitet (der poſitive Strom nämlich), in welcher die Waſſerſtofftheilchen wandern, ſo lange fortdauert, bis das Chlor an der einen Metallplate verſchwunden iſt.

Dieſem ganz analog iſt die Bildung des Stroms beim Verſuch Nr. 3., Seite 341, zu erklären.

Wendet man aber reines Sauerſtoffgas ſtatt des Chlors oder Broms an, ſo befindet ſich daſſelbe in den obigen Combinationen, um mit Schönbein zu reden, noch nicht in einem ſolchen Zuſtande der Erregtheit, daß es die Zerſetzung der nächſten Waſſerpartikelchen veranlaſſen könnte, und daher das Ausbleiben des Stromes bei den Verſuchen Nr. 7. auf Seite 338 und Nr. 2. auf Seite 341.

Wenn aber reines Sauerſtoffgas in dieſen Fällen keinen Polariſationsſtrom erzeugen kann, wie iſt die negative Polariſation einer Platinplatte zu erklären, welche als poſitive Elektrode gedient hat? Auf keinen Fall durch das an ihn ausgeſchiedene Sauerſtoffgas. Neben dem Sauerſtoff tritt aber an der poſitiven Elektrode, wie bereits oben Seite 216 erwähnt wurde, Ozon auf, und daß dieſer merkwürdige Körper Platinplatten negativ zu polariſiren vermag, iſt an der angeführten Stelle bereits erwähnt worden.

Nach Schönbein's Anſicht iſt das Ozon ein Waſſerſtoffſuperoxyd; was dadurch beſonders eine große Stütze erhält, daß die Superoxyde der Metalle ein ganz ähnliches Volta'ſches Verhalten haben. Das dritte Sauerſtoffatom hat eine größere Verwandtſchaft zu oxydirbaren Körpern, als der freie Sauerſtoff, wodurch ſich denn das ſtark elektronegative Verhalten dieſer Körper erklärt.

Hyperoxydketten. Eine mit einem Hyperoxyd, etwa mit Bleihyper- 142
oxyd, überzogene Platinplatte verhält ſich elektronegativ gegen eine reine. Taucht man die beiden Platten mit den Enden des Multiplicatordrahtes verbunden in verdünnte Schwefelſäure, ſo entſteht ein kräftiger Strom von der reinen zu der mit Hyperoxyd überzogenen Platte. Das dritte Atom des Sauerſtoffs im Hyperoxyd entzieht den nächſten Waſſertheilchen ihren Waſſerſtoff und leitet dadurch die Elektrolyſe durch die ganze Flüſſigkeit hiedurch ein.

Um eine Platinplatte mit Bleihyperoxyd zu überziehen, verbindet man ſie mit dem poſitiven Pole einer mehrpaarigen Kette, deren negativer Pol mit einer ähnlichen Platinplatte verbunden iſt. Taucht man nun die beiden Platinplatten in eine Löſung von ſalpeterſaurem Bleioxyd, ſo überzieht ſich die poſitive Polplatte alsbald mit einer Schicht von Bleiſuperoxyd.

Der Strom, welchen eine polariſirte Platinplatte mit einer reinen liefert, iſt natürlich nur ein vorübergehender, er verſchwindet mit der elektromotoriſchen Schicht, welche die eine Platinplatte überzieht. Dieſe Schicht verſchwindet aber nothwendig in Folge der Strombildung.

Betrachten wir z. B. eine mit Waſſerſtoffgas poſitiv polariſirte Platin-

platte; wird dieſe mit einer reinen Platinplatte combinirt, ſo entſteht ein Strom, welcher von der überzogenen zur reinen Platte geht, an der überzogenen wird alſo in Folge des Stroms Sauerſtoffgas ausgeſchieden, welches ſich mit dem Waſſerſtoff verbindet, welcher ſich hier vorfand.

Ebenſo verſchwinden allmälig die Schichten von Chlor, Bleihyperoxyd u. ſ. w., mit denen man Platinplatten negativ polariſirt hat, indem ſich das Chlor oder der Sauerſtoff des Superoxyds mit dem an dieſen Platten durch den Strom ausgeſchiedenen Waſſerſtoffgas verbindet.

Da durch Hyperoxyde polariſirte Platinplatten noch bedeutend ſtärker elektronegativ ſich verhalten als reine Platinplatten, ſo kann man durch Combination von Zink mit Platinplatten, welche mit Bleihyperoxyd überzogen ſind, äußerſt kräftige galvaniſche Ketten conſtruiren.

Der praktiſchen Anwendung ſolcher Ketten ſteht vor der Hand noch der Umſtand entgegen, daß die Schicht von Superoxyd, deren Herſtellung ziemlich umſtändlich iſt, doch gar bald verſchwindet.

Eine Meſſung der elektromotoriſchen Kraft der Hyperoxydketten hat uns Wheatſtone in dem ſchon mehrfach citirten Aufſatze (P. A. LXII. 522.) gegeben. Er fand für die elektromotoriſche Kraft von

1	Zinkamalgam, Kupfervitriol, Kupfer	30	470
2	» verdünnte Schwefelſäure, Kupfer . .	20	313
3	» Platinchlorid, Platin	40	626
4	» verdünnter Schwefel, Platin . . .	27	423
5	Kaliumamalgan, Kupfervitriol, Kupfer	59	924
6	» Platinchlorid, Platin	69	1081
7	» Zinkvitriol, Zink	29	451
8	Zinkamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Bleihyperoxyd . .	68	1065
9	Kaliumamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Bleihyperoxyd .	98	1535
10	Zinkamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Manganhyperoxyd	54	846
11	Katiumamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Manganhyperoxyd	84	1316

Die erſte Zahlencolumne enthält die Werthe der elektromotoriſchen Kräfte, gemeſſen durch Umgänge des Wheatſtone'ſchen Rheoſtaten; die letzte Columne giebt die Werthe auf chemiſches Maaß reducirt, davon ausgehend, daß die elektromotoriſche Kraft der erſten Combination der der Daniell'ſchen Kette gleich zu ſetzen ſey.

Wir ſehen alſo hier, wie die Combination von amalgamirtem Zink mit Bleihyperoxyd eine weit größere elektromotoriſche Kraft zeigt als amalgamirtes Zink und Platin, wenn auch dafür geſorgt iſt, wie bei Nr. 3, daß keine galvaniſche Polariſation am negatioen Metall ſtattfinden kann.

Die Combination Nr. 3 iſt eine der Daniell'ſchen Kette entſpre-

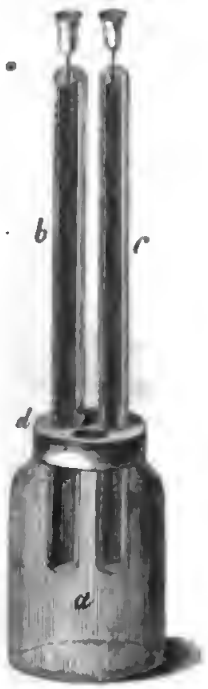
chende Combination von Zink und Platin. Aus der Löſung von Platinchlorid wird auf die Platinplatte in Folge des Stroms metalliſches Platin ausgeſchieden, und dadurch die galvaniſche Polariſation verhindert, gerade ſo wie es bei der Daniell'ſchen Kette durch die Kupferfällung geſchieht; wir können alſo den oben mitgetheilten Zahlenwerth für Nr. 3, nämlich 626, als das Maaß der elektriſchen Differenz zwiſchen Zink (amalgamirt) und Platin betrachten.

Vergleichen wir die elektromotoriſche Kraft von Nr. 3 mit der elektromotoriſchen Kraft einer Grove'ſchen Kette, ſo ergiebt ſich eine bedeutende Differenz, indem erſtere nur 626, letztere aber 777, nach meinen Meſſungen ſogar 829 beträgt (Seite 283 und 284).

Aus dieſer Differenz glaube ich ſchließen zu können, daß die Salpeterſäure in der Grove'ſchen, alſo auch in der Bunſen'ſchen Kette, nicht bloß durch Wegnahme des Waſſerſtoffs die Polariſation vernichtend, ſondern daß ſie auch, in der Weiſe der Hyperoxyde elektromotoriſch wirkt. Ein Umſtand, welcher dieſe Anſicht noch wahrſcheinlicher macht iſt der, daß die elektromotoriſche Kraft einer Combination von Manganhyperoxyd mit Zink (Nr. 10) nicht merklich größer iſt als die der Grove'ſchen und Bunſen'ſchen Kette.

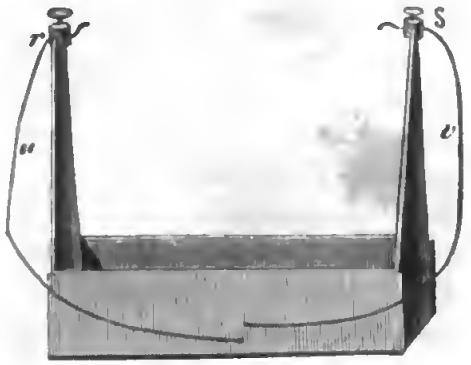
Obige Tabelle zeigt uns auch, wie bedeutend die elektromotoriſche Kraft noch dadurch erhöht werden kann, daß man das elektropoſitive Zinkamalgam durch das noch weit mehr elektropoſitive Kaliumamalgam erſetzt; die Koſtbarkeit des Kaliumamalgams dürfte aber wohl die praktiſche Anwendung ſolcher Ketten unmöglich machen.

Fig. 115



Grove's Gasbatterie. Die Grove'ſche Gasbatterie iſt bereits in meinem Lehrbuch der Phyſik beſchrieben (3te Aufl. 2ter Band, Seite 201). Die dort mitgetheilte Figur iſt jedoch nur eine ſchematiſche. Aus Fig. 115 und Fig. 116 iſt die Einrichtung einer ſolchen Gasſäule näher zu er- 143

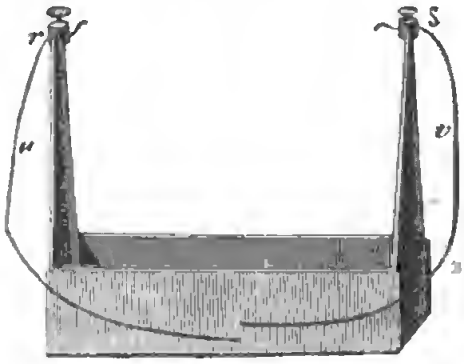
Fig. 116.



ſehen, welche Herr Profeſſor Schönbein aus England bezogen hat. Fig. 117 ſtellt ein einzelnes Element dar. Auf das Glasgefäß *a* iſt ein gefirnißter Metalldeckel luftdicht aufgekittet. Dieſer Deckel hat drei Oeffnungen; durch zwei derſelben gehen die Glasröhren *b* und *c* luftdicht hindurch, die dritte etwas größere kann durch einen Stöpſel verſchloſſen werden. — Jede der beiden Röhren iſt 30 Centimeter lang und hat 1,8 Centimeter im Durchmeſſer. Am obern Ende einer jeden Röhre iſt ein Platindraht

Fig. 117.

Fig. 118.



eingeſchmolzen, welcher oben ein Queckſilbernäpfchen trägt, und an welcher unten eine platinirte Platinplatte angelöthet iſt, welche faſt bis zum untern Ende der Röhre herabreicht.

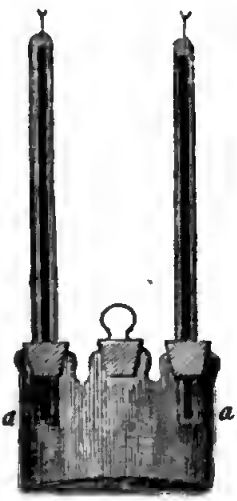
Um ein ſolches Element zu laden, verfährt man folgendermaßen. Man füllt durch die Oeffnung *d* das Gefäß *a* mit Waſſer, verſchließt *d*, und kehrt dann den ganzen Apparat um; auf dieſe Weiſe füllen ſich die Röhren *b* und *c* mit Waſſer. Nachdem man das Element wieder aufrecht geſtellt hat, führt man durch die Oeffnung *d* das Entbindungsrohr des Gasentwicklungsapparates ein. Das eine Rohr wird ſo mit Waſſerſtoffgas, das andere mit Sauerſtoffgas etwa bis auf $^3/_4$ der ganzen Länge gefüllt.

Fig. 118 ſtellt nun ein hölzernes Geſtell vor, welches vier ſolcher Elemente aufnimmt, und zwar iſt Fig. 118 in einem 4mal kleinern Maaßſtabe gezeichnet als Fig. 117. Sind die Elemente eingeſtellt, ſo werden die Queckſilbernäpfchen gehörig durch Kupferdrähte verbunden; in das letzte Queckſilbernäpfchen links taucht ein von der Klemmſchraube *r*, in das letzte Queckſilbernäpfchen rechts taucht ein von der Klemmſchraube *s* ausgehender Draht. — In die beiden Klemmſchrauben werden die Poldrähte *u* und *v* eingeſchraubt.

Dieſe Form der Gasſäule iſt faſt genau dieſelbe, welche Grove in der

Nachſchrift zu einem Aufſatze: »Ueber die Volta'ſche Gasbatterie, Verſuche, um die Urſache ihrer Wirkung und ihre Anwendung auf Endiometrie zu ermitteln (Phil. Trans. 1843 Pt II. pag. 51 in der Ueberſetzung in Poggendorff's Annalen im Ergänzungsband II, 1848) als die zweckmäßigſte beſchreibt; nur iſt dort noch die Einrichtung getroffen, daß man die beiden Gasröhren auch aus dem untern Theil des Apparates herausnehmen und die Gaſe unterſuchen kann. Für dieſen Zweck dürfen die beiden Röhren *b* und *c* nicht ein für allemal in dem Deckel des Gefäßes *a* eingekittet, ſondern ſie müſſen in Stöpſeln befeſtigt ſeyn, mittelſt deren man ſie in den Deckel des Gefäßes *a* einſetzen und ausheben kann. In Fig. 119 iſt die Zeichnung wiedergegeben, welche Grove an dem angeführten Orte mittheilt. Das Gefäß *aa* iſt ein Glasgefäß von der Art der Woulfe'ſchen Flaſchen; die mittlere Oeffnung iſt durch einen Glasſtöpſel geſchloſſen; die Glasröhren werden mittelſt angeſchmolzener und auswärts abgeſchliffener Glaskragen in die beiden andern Oeffnungen eingeſetzt.

Fig. 119.



Theorie der Gasſäule. Was die Theorie der 144
Gasſäule betrifft, ſo ſpricht ſich Grove dahin aus: »es ſey dieſer Batterie eigen, daß ihr Strom durch Gaſe, und zwar eine Syntheſe von gleicher aber umgehrter Art, ſowohl an der Anode als an der Kathode erregt wird.« Damit iſt nun freilich keine klare Vorſtellung von dem Vorgang in der Gasſäule gegeben; noch dunkler iſt die Ausdrucksweiſe Grove's an allen übrigen Stellen ſeiner Aufſätze, wo er ſich auf theoretiſche Betrachtungen über dieſen Gegenſtand einläßt. Es iſt jedoch wahrſcheinlich, daß der Berichterſtatter im »Jahresbericht von Liebig und Kopp, S. 281« wirklich Grove's Anſicht in präciſerer Form wiedergiebt, wenn er ſagt: »Grove leite die elektromotoriſche Kraft der Gasſäule von dem chemiſch elektriſchen Gegenſatze des Waſſerſtoffs und Sauerſtoffs ab.

Eine Stelle des letztern Grove'ſchen Aufſatzes deutet allerdings darauf hin, daß ihm dieſe Vorſtellungsweiſe vorgeſchwebt habe, wo er ſagt: »Will man die Grotthus'ſche Theorie auf die Gasbatterie übertragen, ſo kann man annehmen, es werde, wenn die Batterie geſchloſſen iſt, in der Sauerſtoffröhre an jedem Punkte, wo ſich Sauerſtoff, Waſſer und Platin berühren, ein Waſſerſtofftheilchen das mit ihm verbundene Sauerſtofftheilchen verlaſſen, um ſich mit einem Theilchen des freien Gaſes zu

vereinigen; der dadurch ausgeſchiedene Sauerſtoff werde ſich mit dem Waſſerſtoff des anliegenden Waſſertheilchens verbinden und ſo fort, bis das letzte Sauerſtofftheilchen ſich mit einem Theilchen freien Waſſerſtoffs vereinigt ꝛc.« Allein Grove ſagt bald darauf: »Ich erwähne dieſe Hypotheſe nicht, als wenn ich ihr buchſtäblich anhinge, ſondern weil ſie die allgemein angenommene iſt.«

Gegen die Grove'ſche Theorie der Gasſäule iſt nun Schönbein aufgetreten, und theilweiſe mag dieſe Controverſe in der erwähnten Unklarheit ihren Grund haben, mit der Grove ſeine theoretiſchen Anſichten ausſpricht Schönbein hat ſeine Anſichten über die Gasſäule in zwei Aufſätzen auseinander geſetzt, welche ſich in Poggendorff's Annalen finden, der erſtere im LVIII. Bande Seite 361 führt den Titel »Ueber die Sauerſtoff- und Waſſerſtoffſäule,« der zweite im LXXIV. Band. Seite 241 iſt überſchrieben: »Ueber die Rolle, welche der Sauerſtoff in der Grove'ſchen Gasſäule ſpielt.«

Schönbein's Anſicht über die Gasſäule geht dahin, »daß der Waſſerſtoff in der erwähnten Vorrichtung mit Bezug auf die in ihr ſtattfindende Stromerzeugung eine primitive, der Sauerſtoff dagegen nur eine ſecundäre, d. h. depolariſirende Rolle ſpielt.«

Allerdings vermag der Waſſerſtoff allein einen Polariſationsſtrom zu erzeugen, wie uns die auf Seite 338 angeführten Verſuche Schönbein's beweiſen; eine Platinplatte, welche eine kurze Zeit in eine Atmoſphäre von Waſſerſtoff getaucht war, giebt mit einer reinen Platinplatte combinirt einen Strom, ſelbſt wenn die Flüſſigkeit, in welche ſie eintauchen, keinen freien Sauerſtoff enthält; es iſt alſo klar, daß eine Grove'ſche Gasſäule einen Strom liefern muß, wenn die eine Hälfte der Röhren ganz mit geſäuertem Waſſer gefüllt iſt, während die andere Hälfte derſelben Waſſerſtoff enthält, ſelbſt wenn aus der Flüſſigkeit vorher aller freie Sauerſtoff ausgetrieben worden und der Zutritt der atmoſphäriſchen Luft abgeſperrt iſt.

Dieſer Strom nun hört freilich bald auf, weil in Folge deſſelben ſich Waſſerſtoff an den bisher nicht mit Gas in Berührung ſtehenden Platinplatten ablagert, alſo die Differenz aufhört, welche die Strombildung veranlaßte.

Soll der Strom dauernd ſeyn, ſo muß der in Folge des Stroms auf der andern Seite ausgeſchiedene Waſſerſtoff alsbald wieder weggeſchafft werden, und dies iſt nach Schönbein's Anſicht die Function, welche der Sauerſtoff in der Gasſäule zu verrichten hat.

Schönbein's Meinung geht alſo dahin, der Sauerſtoff wirke in der Gasſäule nicht elektromotoriſch, ſondern nur depolariſirend; er ſtützt ſich dabei auf die Beobachtung, deren Glaubwürdigkeit der Berichterſtatter im »Jahresbericht von Liebig und Kopp,« wohl mit Unrecht in Zweifel zieht,

daß reiner Sauerſtoff eine Platinplatte nicht in der Weiſe zu polariſiren vermöge, wie Waſſerſtoff, wie wir dies auf Seite 338 geſehen haben.

Die Oben ermittelten Zahlenwerthe für die Polariſation der Platinplatten in verſchiedenen Gaſen macht es möglich, die Frage in ganz präciſe Ausdrücke zu faſſen.

Die Geſammtpolariſation in einem Voltameter iſt im Maximum ungefähr 1200; die Hälfte dieſer Polariſation kommt auf die negative mit Waſſerſtoff bekleidete, die andere Hälfte auf die poſitive mit ozonhaltigem Sauerſtoff bekleidete Platinplatte; nun iſt die Frage: iſt die elektromotoriſche Kraft eines Elementes der Grove'ſchen Gasſäule gleich 1200; oder iſt ſie nach Schönbein's Anſicht nur 600?

Obgleich eine mit reinem Sauerſtoff bekleidete Platinplatte, mit einer andern in geſäuertem Waſſer combinirt, keinen Strom erregt, ſo findet doch jedenfalls auch hier eine elektriſche Differenz Statt, wenn ſie auch nicht hinreicht, die Zerſetzung der zwiſchenliegenden Waſſerſchicht einzuleiten, es iſt deshalb auch wahrſcheinlich, daß die elektromotoriſche Kraft eines Grove'ſchen Gaselementes, geladen mit Waſſerſtoff und reinem Sauerſtoff, größer iſt als 600, wenn ſie gleich den Werth 1200 nicht erreicht, welcher der Fall entſpricht, daß man mit ozonhaltigem Sauerſtoff zu thun hat.

Auf den erſten Anblick erſcheint wohl nichts leichter, als dieſe Frage durch einen directen Verſuch, nämlich durch Meſſung der elektromotoriſchen Kraft der Gasſäule, zu entſcheiden, doch zeigt eine nähere Prüfung, daß hier von der Meſſung der elektromotoriſchen Kraft keine Rede ſeyn kann. — Die Platinplatten der Gasſäule ſind nämlich durchaus nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach ſo mit Gaſen bekleidet, ſondern nur theilweiſe; wir haben alſo hier denſelben Fall, als ob man in ein mit geſäuertem Waſſer gefülltes Gefäß zwei außerhalb der Flüſſigkeit metalliſch verbundene Platinplatten eintauchte, von denen die eine an mehreren Stellen mit Zink bedeckt iſt. Wenn man die verſchiedenen Methoden zur Beſtimmung der elektromotoriſchen Kraft auf den Strom anwendet, welcher hier den die beiden Platinplatten verbindenden Draht durchläuft, ſo wird man (ganz abgeſehen von der Polariſation, welche an der reinen Platinplatte auftritt) gewiß nicht den wahren Werth der elektriſchen Differenz zwiſchen Zink und Platin erhalten. Wegen der nur partiellen Bekleidung der Platinplatten mit Gas bilden ſich Seitenentladungen, ſo daß der Strom, welcher den Schließungsdraht durchläuft, nur ein Theil des durch die elektriſchen Gegenſätze in der Kette hervorgebrachten Effects iſt, daher denn auch zum Theil die außerordentlich geringe Stromſtärke der Gasſäule.

Wirkungen der Gasſäule. Mit einer Gasbatterie von 50 Ele- 145
menten erhielt Grove folgende Wirkungen:

1) Einen Schlag, den fünf ſich anfaſſende Perſonen noch fühlen konnten.

2) An einen mäßig empfindlichen Galvanometer brachte der Strom eine bleibende Ablenkung von 60° hervor.

3) Bedeutende Divirgenz eines Goldblattelektroſkops.

4) Zwiſchen Kohlenſpitzen einen hellen, bei vollem Tageslicht ſichtbaren Funken.

5) Elektrolytiſche Zerſetzung von Jodkalium und geſäuertem Waſſer.

Um eine merkliche Waſſerzerſetzung hervorzubringen, reichen vier Zellen der oben beſchriebenen Einrichtung hin. Eine einzige Zelle zerſetzt Jodkalium.

Zehn Elemente dieſer Art mit verdünnter Schwefelſäure vom ſpecifiſchen Gewicht 1,2 und abwechſelnd mit Waſſerſtoff und Sauerſtoff gefüllt, wurden mit einem eingeſchalteten Voltameter zur Batterie geſchloſſen und 36 Stunden ſtehen gelaſſen. Am Ende dieſer Zeit waren 2,1 Kubikzoll Knallgas im Voltameter entwickelt worden; in jeder der Waſſerſtoffröhren war 1,5 Kubikzoll, in jeder der Sauerſtoffröhren war 0,7 Kubikzoll, zuſammen alſo 2,2 Gas verſchwunden. Die Differenz (2,2 gegen 2,1) rührt wohl daher, daß eine ſchwache Abſorption des Sauerſtoffs durch das Waſſer ſtattfindet.

Wenn ein merklicher Strom ſtattfinden ſoll, ſo dürfen die platinirten Platinplatten nicht ganz unter den Waſſerſpiegel untertauchen, ſondern ſie müſſen begreiflicherweiſe theilweiſe aus der Flüſſigkeit hervor-, und in die Gasatmoſphäre hineinragen.

Eine Batterie, deren Röhren abwechſelnd mit Waſſerſtoff und verdünnter Salpeterſäure geladen waren, gab einen Strom, und zwar reichten drei Paare hin, um in einem eingeſchalteten Voltameter Waſſer zu zerſetzen.

Einen ſehr kräftigen Strom giebt die Gasſäule, wenn man den Sauerſtoff durch Chlor erſetzt. Eine Chlorwaſſerſtoffſäule von zwei Elementen reicht hin, um Waſſer zwiſchen Platinplatten zu zerſetzen.

Aehnlich wie Waſſerſtoff verhält ſich Kohlenoxydgas in der Gasſäule.

Andere Gaſe, z. B. Stickgas, verhalten ſich abſulut wirkungslos in der Gasbatterie. Bringt man z. B. in eine Röhre ein Gemenge von Stickſtoff und Sauerſtoff, in die andere Waſſerſtoffgas, ſo wird nach Schließung der Kette aller Sauerſtoff der einen Röhre allmälig vollſtändig verzehrt, während der Stickſtoff derſelben zurückbleibt. Darauf gründet ſich der Vorſchlag Grove's, die Gasſäule zu eudiometriſchen Verſuchen anzuwenden.

In einem zweiten Aufſatz, welcher ſich im zweiten Ergänzungsbande von Poggendorff's Annalen findet (Seite 407), beſchreibt Grove folgende merkwürdige Verſuche.

Die eine Röhre eines Gasſäulenelementes wurde mit Sauerſtoff geladen, in die andere aber wurde mittelſt eines kleinen auf einem Glasſtiel befeſtigten Glastrichterchen, wie es in Fig. 120. dargeſtellt iſt, ein gewogenes Stückchen Phosphor gebracht, und dann die Röhre zum Theil mit Stickſtoff gefüllt. Der Apparat, durch einen Galvanometer geſchloſſen,

zeigte einen Strom an. Nach viermonatlicher Schließung, während welcher
Fig. 120. das Galvanometer immer einen Strom anzeigte, war das Wasser

in der Sauerstoffröhre um 1 Kubikzoll gestiegen, in der Stickstoffröhre aber gar nicht; dagegen war das Phosphorstückchen um 0,4 Gran leichter geworden.

Dies Resultat ist leicht zu erklären, in der Atmosphäre von Stickstoff verbreiten sich Phosphordämpfe und diese verhalten sich denn gerade, wie der Wasserstoff in der gewöhnlichen Gasbatterie.

Schwefel anstatt Phosphor gab keine Wirkung, als aber der Schwefel dadurch zum Schmelzen gebracht wurde, daß man einen heißen Metallring an der Stelle, an welcher sich gerade das Trichterchen befand, um die Gasröhre hielt, gab das Galvanometer augenblicklich einen Ausschlag.

Die beiden Röhren der Gasbatterie wurden mit Stickstoff geladen, die eine aber mit Phosphor, die andere mit Jod versehen. Nach der Schließung zeigte sich ein entschiedener Strom, welcher Monate lang anhielt.

Das Stickgas änderte sein Volum nicht, die Flüssigkeit färbte sich aber allmälig. Hier wirkt der Joddampf wie Sauerstoff, der Phosphordampf wie Wasserstoff.

Poggendorff's Wippe. Es ist bekannt, daß, wenn man zwei 146
homogene Platten, etwa zwei Platinplatten, welche in verdünnter Säure eintauchen, mit den Polen auch nur eines Volta'schen Elementes verbindet,

Fig. 121.

die galvanische Polarisation, welche dieselben erfahren, hinreichend stark ist, um einen Strom in entgegengesetzter Richtung hervorzubringen, wenn man sie leitend verbindet, nachdem man den primitiven Strom unterbrochen hat. Es sey z. B. in Fig. 121. *a* ein Voltameter, *b* ein galvanisches Element, welches seinen Strom durch das Voltameter sendet; unterbricht man nun diesen Strom, verbindet man alsdann die Drahtenden eines Multiplicators *c* mit den beiden Platten, so zeigt dieses den Polarisationsstrom an, welcher jedoch bald wieder aufhört.

Auf diese Weise können ganze Reihen von Platten polarisirt werden, und so erhält man die Ritter'sche Ladungssäule, zu deren Ladung man jedoch stets eine primitive Säule von vielen Plattenpaaren anwandte; die elektromotorische Kraft, welche den secundären Strom der Ladungssäule in Bewegung setzte, ist aber begreiflicher Weise stets kleiner als die elektromotorische Kraft der ladenden primitiven Säule.

Poggendorff hat nun eine Vorrichtung ersonnen, um mit einer ein-

fachen Volta'ſchen Kette eine ſecundäre Säule von beliebig vielen Plattenpaaren zu laden und ſo einen Strom von viel größerer elektromotoriſcher Kraft als die der ladenden Kette zu erhalten (P. A. LX. 568.).

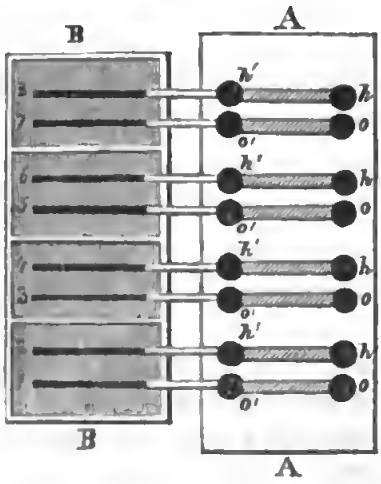
Das Verfahren iſt folgendes. Geſetzt, man habe eine Reihe von Platinplatten paarweiſe in Zellen geſetzt, die mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt ſind, wie dies in Fig 122. angedeutet iſt. Die Platten 1 und 2 ſind in der erſten, 3 und 4 in der zweiten Zelle u. ſ. w. — Werden nun die Platten 1, 3, 5 und 7 mit dem poſitiven Pol der einfachen Kette verbunden, die Platten 2, 4, 6 und 8 aber mit dem negativen, ſo werden die mit ungeraden Zahlen bezeichneten Platten eine negative Polariſation erfahren (indem ſich an ihnen Sauerſtoffgas ablagert), die mit geraden Zahlen bezeichneten Platten aber werden poſitiv polariſirt (durch Waſſerſtoffgas).

Nachdem nun dieſe Verbindung nur ganz kurze Zeit beſtanden hat, wird ſie raſch aufgehoben und nunmehr die geladenen Platten nach dem Princip der Säule verbunden und durch ein Voltameter geſchloſſen, welches jetzt von einem Strom von viel größerer Spannung durchlaufen wird als der primitive war, weil ſich ja in dieſer Combination die elektromotoriſche Kraft aller polariſirten Plattenpaare ſummirt.

Zu dieſem Zweck müſſen die Platten 1 und 8 mit den Voltameterdrähten in leitende Verbindung gebracht, während 2 und 3, 4 und 5, 6 und 7 durch Metalldrähte verbunden werden.

Poggendorff hat nun einen Apparat, die Wippe genannt, erſonnen, um dieſe Ladungen und Entladungen in raſcher Aufeinanderfolge bewerkſtelligen zu können. Folgendes iſt die Einrichtung dieſes Inſtrumentes.

Fig. 122.



Neben den Zellen *B B*, welche die Platinplatten aufnehmen, und welche man Fig. 122. im Grundriß ſieht, iſt ein Brett *AA* angebracht, welches die Unterlage zur eigentlichen Wippe bildet. Es iſt von hartem, dichtem Holz, gemacht 1 Zoll dick, $3\frac{3}{4}$ Zoll breit, und falls das Inſtrument zur Ladung einer Batterie von vier Plattenpaaren dienen ſoll, ungefähr 6 Zoll lang.

In dieſes Brett ſind bis zur Tiefe von ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll zwei Löcherreihen *h o* und *h' o'* eingebohrt, welche paarweiſe durch Kupferdrähte die an beiden Enden hakenförmig herabgebogen ſind, oder auch durch Eiſenſtäbe die in das Brett eingelaſſen ſind, verbunden werden, wie es in unſern Figuren gezeichnet iſt. Die Löcher werden mit Queckſilber gefüllt.

Von der Platinplatte 1 geht ein Kupferdraht nach o', die Platte 1 iſt alſo mit dem vorderſten o' und o in leitender Verbindung, ebenſo die Platte 2 mit den beiden folgenden Queckſilbernäpfchen h' und h u. ſ. w.

Damit die Verbindungsdrähte möglichſt kurz ſeyen, hat man die Unterlage AA durch ein Statif oder durch Holzklötze in gleiche Höhe mit dem oberen Theil der Platinplatten, und dieſen recht nahe zu bringen.

Auf die Unterlage kommt die eigentliche Wippe zu ſtehen, welche mit der Unterlage in Fig. 123 in etwas größerem Maaßſtab perſpectiviſch, und in Fig. 124 im Durchſchnitt dargeſtellt iſt.

Fig. 123.

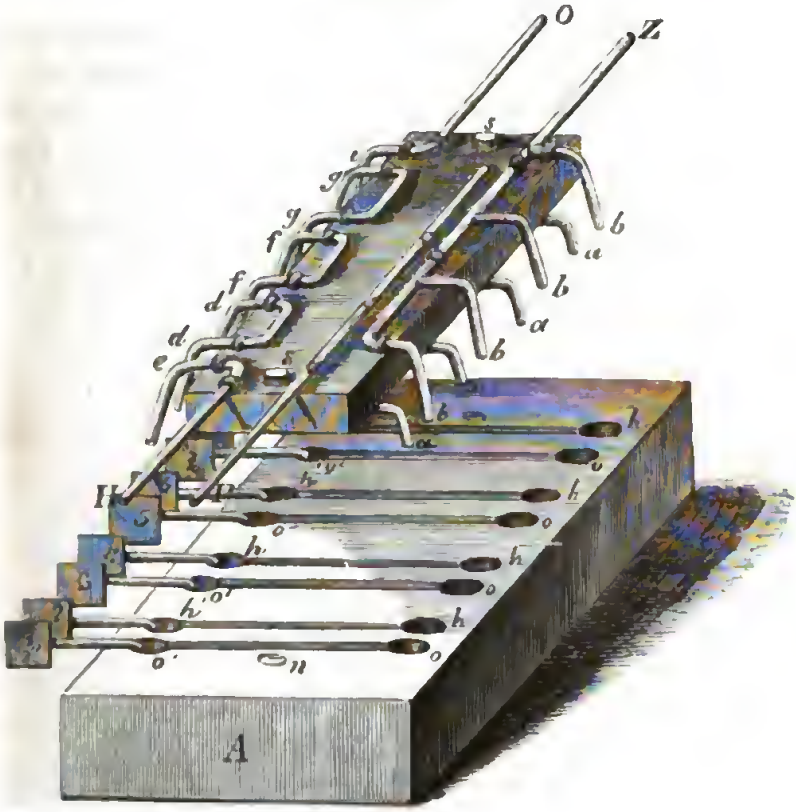
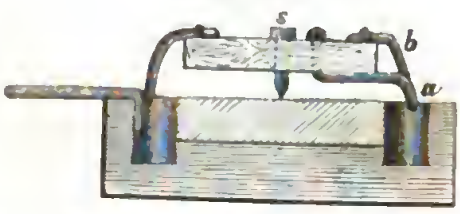


Fig. 124.



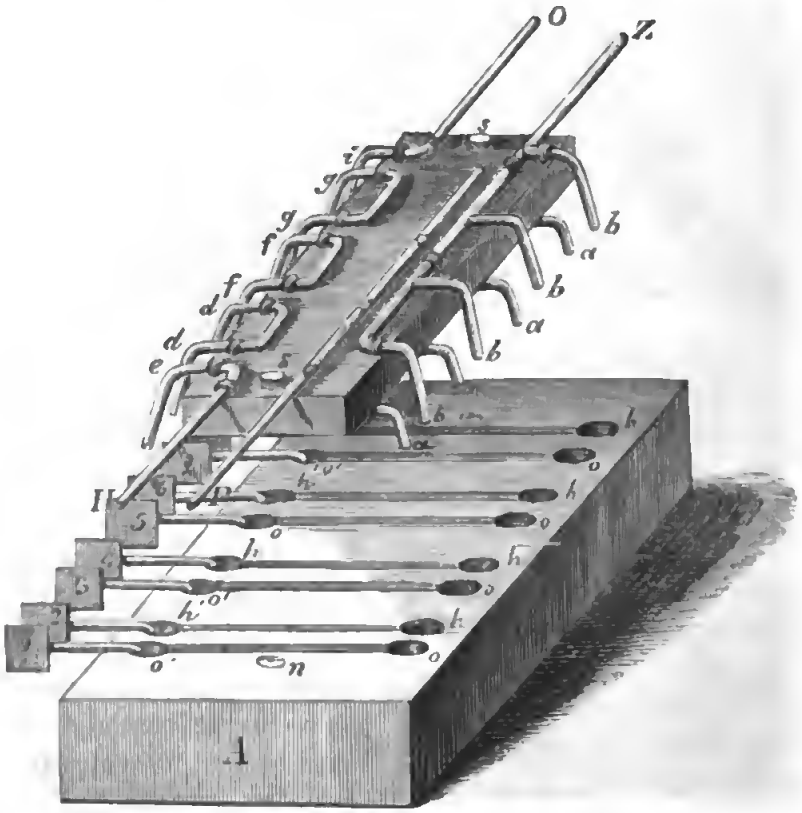
Durch den mittleren Theil eines Brettes von 1/3 Zoll Dicke, 1 1/2 Zoll Breite und faſt gleicher Länge mit der Unterlage gehen zwei ſtumpf zugeſpitzte Stifte *ss*, welche zwei Vertiefungen in der Unterlage entſprechen. Mittelſt dieſer Stifte ſtützt ſich die Wippe auf die Unterlage in der Weiſe, daß ſie

entweder nach der einen oder nach der andern Seite neigt, ſo daß die an dem Brett befindlichen Haken entweder in die Queckſilbernäpfchen rechts oder links eintauchen.

Dieſe Haken ſind von Kupferdraht. Auf der rechten Seite iſt die Hälfte aller Haken, nämlich die mit *b* bezeichneten an einem nach Hinten verlängerten und dort mit *Z* bezeichneten Kupferdraht befeſtigt; die mit *a* bezeichneten Haken aber gehen durch das Brett hindurch zu einem nach vorn verlängerten und da mit *P* bezeichneten Kupferdraht. Iſt nun die Wippe auf die rechte Seite geneigt, ſo tauchen die mit *a* bezeichneten Haken in die mit *o* bezeichneten Löcher, die mit *b* bezeichneten Haken tauchen aber in die mit *h* bezeichneten Löcher.

Bei *Z* iſt nun ein Verbindungsdraht angeſchraubt, welcher zum Zinkcylinder, bei *P* ein ſolcher, welcher zum Kohlencylinder (oder zur Platinplatte) des ladenden Elementes geht; wenn alſo die Wippe nach der rechten Seite geneigt iſt, ſo ſind dadurch die Platten 1, 3, 5, 7 mit dem Kohlen-, die Platinplatten 2, 4, 6, 8 mit dem Zinkcylinder in Verbindung, 1, 3, 5 und 7 werden alſo negativ; 2, 4, 6 und 8 werden poſitiv polariſirt. (In Fig. 125 ſind die Platinplatten 1, 2, 3 u. ſ. w., zu

Fig. 125.



welchen die Kupferdrähte führen, welche aus den Löchern *o'* und *h'* nach der Linken gehen, nur ſchematiſch angedeutet.)

Auf der linken Seite der Wippe befindet ſich nun ein anderes Hakenſyſtem. Der vorderſte *e* iſt nach vorne (nach *H*) gebogen, der hinterſte *i* nach Hinten (nach *O*). Die beiden mit *d* bezeichneten Haken ſind aus einem Stück Kupferdraht gemacht, ebenſo die beiden mit *f* und die beiden mit *g* bezeichneten Haken. Wird nun die Wippe nach der linken Seite geneigt, ſo treten die Haken *a* und *b* aus dem Queckſilber der Näpfchen heraus, die Haken *c*, *d*, *f*, *g* und *i* aber tauchen in die Näpfchen *o'* und *h'* ein. Durch die Haken *d* werden die Platten 2 und 3, durch *f* 4 und 5, durch *g* 6 und 7 in leitende Verbindung gebracht, alſo die Platinplatten nach dem Syſtem der Säule combinirt. Bei *H* nun iſt der eine Enddraht des Voltameters, bei *O* der andere angeſchraubt, ſobald alſo die Wippe nach der linken Seite gelegt wird, werden die zuvor geladenen Platinplatten zur Säule verbunden, und dieſe Säule gleichzeitig durch das Voltameter geſchloſſen.

Der durchs Voltameter gehende Strom der Ladungsſäule iſt ein raſch vorübergehender; neigt man die Wippe wieder nach der rechten Seite, ſo findet eine abermalige Ladung der Platinplatten, und bei einer Neigung nach der Linken eine abermalige Entladung durch das Voltameter Statt.

Was die Vorſichtsmaßregeln betrifft, die man bei der Conſtruction und dem Gebrauche der Wippe zu beobachten hat, ſo müſſen wir auf die Originalabhandlung verweiſen (P. A. LXI. 586).

Um den Proceß des Ladens und Entladens zu unterhalten, hat man nur die Wippe andauernd hin- und her zu bewegen, was leicht mit dem Finger 2- bis 300mal in der Minute ausgeführt werden kann. Man erhält auf dieſe Weiſe zwar einen intermittirenden, aber doch beliebig lange wirkenden Strom, den man zu verſchiedenen Zwecken benutzen kann. — Poggendorff's Säule beſtand aus 4 Plattenpaaren von 2½ Quadratzoll Fläche auf jeder Seite; als primäre Kette brauchte er ein Grove'ſches Element.

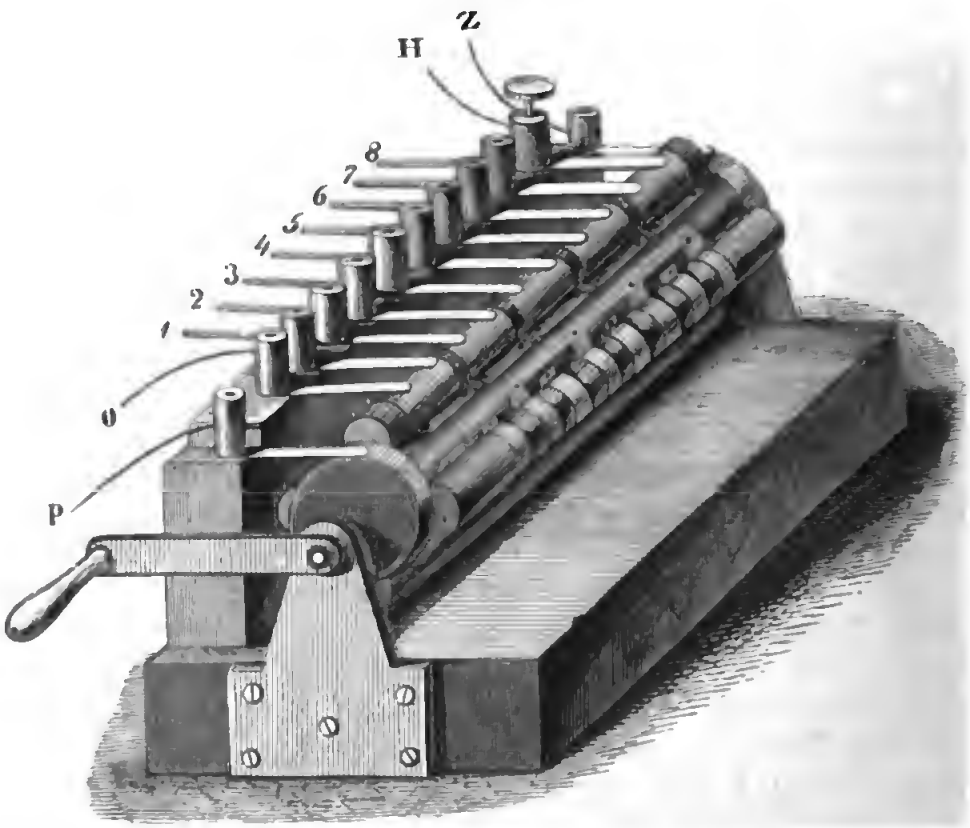
Die Herſtellung galvaniſcher Verbindungen mittelſt Queckſilber führt mehrerlei Unannehmlichkeiten mit ſich, weshalb man in neuerer Zeit vielfach bemüht war, ſie durch andere Vorrichtungen zu erſetzen; ſo hat man die Queckſilbernäpfchen durch Schraubklemmen erſetzt, man hat Commutatoren ohne Queckſilber conſtruirt u. ſ. w. Deshalb erſchien es mir denn auch wünſchenswerth, die Poggendorff'ſche Wippe durch einen Apparat zu erſetzen, welcher den gleichen Zweck ohne Queckſilber erfüllt. Ich ſchlage dazu die in Fig. 126 (a. f. S.) abgebildete Vorrichtung vor.

Auf einem vertikal ſtehenden Brette auf der linken Seite unſerer Figur iſt eine Reihe von Meſſingpfeilern angebracht, welche zum Einſchrauben

von Metalldrähten dienen; der Schraubenkopf, welcher zum Feſtklemmen der Drähte dient, iſt jedoch nur bei der vorletzten gezeichnet; alle übrigen Pfeiler müſſen mit eben ſolchen Schrauben verſehen ſeyn. — Alle dieſe Meſſingpfeiler ſtehen auf Metallfedern, welche auf einer drehbaren Walze ſchleifen; der erſte und der letzte Pfeiler ſtehen etwas tiefer als die andern.

Auf den beiden Enden der Walze ſitzen Kupferringe. Auf dem vor-

Fig. 126.



deren Kupferring ſchleift die Feder des erſten Pfeilers (deſſen eingeklemmter Draht nach *P* führt), auf den hinteren Kupferring ſchleift die Feder des letzten Pfeilers (deſſen Draht nach *Z* geht).

Dieſe Drähte führen zur Platinplatte und zur Zinkplatte des ladenden Elementes.

In den erſten und letzten der höher liegenden Pfeiler ſind die Drähte *O* und *H* eingeſchraubt, welche zu den Platinplatten des Voltameters führen.

Die Drähte 1, 2, 3, . . . 8, welche in den übrigen Pfeilern eingeklemmt ſind, führen zu den Platinplatten der ſecundären Säule.

Auf der drehbaren Holzwalze ſitzen nun, immer um 90° abſtehend, 4

halbkreisförmige Holzleiſten, welche theilweiſe mit Streifen von Kupferblech überzogen ſind; auf dieſen ſchleifen dann während der Drehung abwechſelnd die Federn der höher gelegenen Pfeiler.

Auf der Leiſte, welche in der Zeichnung gerade nach Oben ſteht, und auf welcher die Federn jetzt gerade liegen, ſind die Kupferbügel ſo angebracht, daß 1 mit *O*, 2 mit 3, 4 mit 5, 6 mit 7 und 8 mit *H* in leitender Verbindung iſt; eben ſind alſo die Platinplatten 1 bis 8 nach dem Princip der Säule combinirt, und durch das Voltameter geſchloſſen.

Die eben nach Unten gerichtete Holzleiſte hat gleiche Einrichtung mit der nach Oben ſtehenden.

Ebenſo haben die beiden diametral einander gegenüberſtehenden Wulſte, welche eben auf der rechten und linken Seite der Walze ſich befinden, gleiche Einrichtung und zwar ſo, daß wenn dieſe mit den Metallfedern in Berührung kommen, daß alsdann die Platten 2, 4, 6 und 8 mit dem Kohlencylinder, 1, 3, 5 und 7 mit dem Zinkcylinder des ladenden Elementes leitend verbunden ſind.

Des leichteren Ausdrucks wegen wollen wir die Wulſte, welche eben in der Zeichnung Oben und Unten ſtehen, die Entladungswulſte, die beiden andern die Ladungswulſte nennen.

Die Einrichtung der Ladungswulſte iſt folgende. Ueber den Holzwulſt ſind 8 Kupferbügel ſo gelegt, daß ſie mit den 8 Federn in Berührung kommen, welche den 8 Platinplatten entſprechen. Die eine Hälfte dieſer Bügel (in unſerer Figur von vorn an gezählt die 2re, 4te, 6te und 8te) ſind mit einem Kupferſtreifen verbunden, welcher zu dem vorderen Kupferring der Walze, alſo nach *P* führt. Auf dieſelbe Weiſe iſt die andere Hälfte der Kupferbügel (alſo 1, 3, 5 und 7) mit einem ähnlichen Kupferſtreifen verbunden, welcher, auf der andern Seite des Holzwulſtes liegend, in unſerer Figur nicht ſichtbar iſt, und welcher zum hintern Kupferring der Walze, alſo nach *Z* führt; die Bügel 1, 3, 5 und 7 ſind alſo mit dem Zinkcylinder, 2, 4, 6 und 8 ſind mit dem Kohlencylinder des ladenden Elements in Verbindung, wenn der Ladungswulſt oben iſt.

Die Walze wird mittelſt der Kurbel umgedreht; bei jeder Umdrehung erfolgt eine zweimalige Ladung und eine zweimalige Entladung der ſecundären Säule.

Die zweckmäßigſten Dimenſionen der Walze ſind 12 Centimeter Länge (für eine Säule von 4 Plattenpaaren) und (ohne die Wulſte) $2\frac{1}{2}$ bis 3 Centimeter Durchmeſſer.

Durch ein Grove'ſches Element wird bekanntlich das Waſſer nur höchſt unbedeutend zerſetzt; es bekleiden ſich die Voltameterplatten zwar mit Gasbläschen, aber nur ſehr wenige ſteigen auf. Benutzt man aber durch Vermittlung der Wippe die einfache Kette zur Ladung der ſecun-

dären Säule, in deren Schließungsbogen daſſelbe Voltameter eingeſchaltet iſt, ſo erhält man, ſobald die Wippe in Bewegung geſetzt wird, eine lebhafte Waſſerzerſetzung, zum augenfälligen Beweis, daß die elektromotoriſche Kraft des ſecundären Stroms beträchtlich ſtärker iſt als die des primären.

Mit einem Voltameter, deſſen Platten auf jeder Seite ungefähr 3 Quadratzoll Fläche dem mit Schwefelſäure verſetzten Waſſer darboten, erhielt Poggendorff 5 bis 6 Kubikcentimeter Knallgas in der Minute, wenn in dieſer Zeit die Wippe etwa 80mal hin- und herging.

Der mittelſt der Wippe erhaltene ſecundäre Strom beſitzt eine elektromotoriſche Kraft, welche die des primären Stroms der einfachen Kette um ſo mehr übertrifft, je mehr Plattenpaare die ſecundäre Säule hat; dagegen iſt der chemiſche Geſammteffect, welchen der ſecundäre Strom im Voltameter hervorbringt, doch nur $\frac{1}{n}$ (wenn die ſecundäre Säule aus n Plattenpaaren beſteht) von demjenigen, welchen der primäre Strom zuvor in jeder einzelnen Zelle zur Ladung der Platten hervorgebracht hatte; denn während ſich bei dem oben angeführten Verſuche Poggendorff's im Voltameter 6 C.C. Knallgas ſammelten, mußten ſich in jeder der vier Zellen der Ladungsſäule 6 C.C. dieſer Gaſe zu Waſſer vereinigen, und dieſe Gasmenge war vorher durch die Wirkung der primären Kette aus dem Waſſer entbunden worden; in der Minute müßten alſo durch die Wirkung der primären Kette in den 4 Zellen zuſammen das Waſſer zu $6 \times 4 = 24$ Kubikcentimetern Gas elektrolyſirt worden ſeyn, damit im Voltameter 6 Kubikcentimeter frei werden können.

Ohne die Wippe würde freilich durch die directe Wirkung der einfachen Kette in den 4 Zellen (welche in dieſer Combination ein großes Plattenpaar darſtellen) noch nicht einmal 0,1 Kubikcentimeter Gas entbunden worden ſeyn, weil das Gas, welches im erſten Momente des Stromdurchgangs auftritt, ſogleich eine Polariſation der Platten bewirkt, in Folge deren nur ein äußerſt ſchwacher Strom noch circuliren kann; durch die Wippe wird aber dieſe Polariſation ſogleich wieder weggenommen und dadurch wieder eine ungeſchwächte Wirkung der ladenden Zelle möglich.

Die Platinplatten, aus denen Poggendorff ſeine ſecundäre Säule zuſammenſetzte, waren platinirt, d. h. mit Platinmohr überzogen (ſiehe Seite 280). Wenn der ſecundäre Strom einigermaßen kräftig ſeyn ſoll, ſo iſt dies durchaus nöthig; wenigſtens müſſen die negativen Platten der ſecundären Säule, d. h. diejenigen platinirt ſeyn, an denen der primitive Strom Sauerſtoff ausgeſchieden hat, und denen der ſecundäre Strom Waſſerſtoffgas zuführt. Der Einfluß des Platinirens geht aus folgenden, von Poggendorff angeſtellten Verſuchen hervor.

In fünf Minuten lieferte eine Säule von zwei Paaren Platinplatten mit einem kleinen Grove'ſchen Elemente und der Wippe verbunden folgende Gasmenge:

1) Alle Platten blank . . . . etwas über 1 C.C.
3) die poſitiven Platten platinirt 1,5
4) die negativen Platten platinirt . . . . 13 bis 14
3) alle Platten platinirt . . . . . 13 bis 14.

Die poſitiven Platten ſind diejenigen, an denen der urſprüngliche Strom Waſſerſtoffgas ausgeſchieden hat.

Dies rührt nicht daher, daß die platinirten Platten ſtärker polariſirt wurden, denn in der That werden ſie weniger ſtark polariſirt als blanke, ſondern nach Poggendorff's Meinung beſteht die Wirkung des Platinmohrs darin, daß er die Verbindung des an ihm durch den primären Strom ausgeſchiedenen Sauerſtoffs mit dem in Folge des ſecundären Stromes hier nascirenden Waſſerſtoff begünſtigt. Gegen die Art und Weiſe, wie Poggendorff dieſe Anſicht ausſpricht und zu begründen ſucht, ließe ſich wohl mancherlei einwenden, was zu beſprechen jedoch hier nicht der Ort ſein dürfte.

Mit Erfolg hat Poggendorff Platten von Bunſen'ſcher Kohle zur Conſtruction der ſecundären Säule angewandt. Eine Batterie von 2 Paaren ſolcher Blätter 1 Zoll breit und 1,5 Zoll tief, in verdünnte Säure getaucht, gaben im Voltameter in 5 Minuten 8 Cubikcentimeter Knallgas.

Der Polariſationsſtrom, welcher eine ſolche ſecundäre Säule mittelſt der Wippe liefert, iſt bedeutend ſtärker als der einer Grove'ſchen Gasſäule. In einer Minute liefert der intermittirende Strom einer ſecundären Säule von zwei Plattenpaaren mittelſt der Wippe $^{14}/_{5} = 2{,}8$ C.C. Knallgas, während der continuirliche Strom einer Gasſäule von 10 Zellen in 36 Stunden nur 2,1 Kubikzoll, alſo in der Minute ungefähr nur 0,016 Cubikcentimeter Knallgas liefert.

Aeltere Beobachtungen über das Verhalten des Eiſens zur Salpeterſäure. 147 Taucht man einen Eiſendraht in Salpeterſäure, deren ſpecifiſches Gewicht 1,4 iſt, ſo bräunt er ſich augenblicklich, während rothe Dämpfe mit mehr oder minder ſtarkem Aufbrauſen entweichen. Dies hört aber bald wieder auf, das Eiſen nimmt ſeinen Metallglanz wieder an, und behält ihn ſo lange es in der Säure bleibt, ohne daß ein weiteres Angreifen ſtattfindet. — Einmal in dieſen Zuſtand der chemiſchen Unthätigkeit verſetzt, bleibt ein ſolcher Draht aber auch in noch verdünnterer Säure, die dieſen Zuſtand für ſich nicht hätte hervorrufen können, unthätig.

Dieſes merkwürdige Verhalten des Eiſens gegen Salpeterſäure wurde

bereits im vorigen Jahrhundert von James Keir beobachtet und bekannt gemacht (Phil. Trans. für 1790), doch ſtanden dieſe Erſcheinungen damals zu iſolirt da, als daß es möglich geweſen wäre ihre wahre Natur zu ermitteln, und ſo geriethen denn Keir's Beobachtungen in Vergeſſenheit.

Erſt nach 37 Jahren machte Wetzlar ähnliche Erfahrungen, die er in Schweigger's Jahrbuch der Chemie und Phyſik Bd. 49, S. 470, Bd. 50, S. 88 und 129, Bd. 56, S. 206 publicirte. In England nahm Herrſchel dieſen Gegenſtand wieder auf (P. A. XXXII. 211) und Fechner beobachtete ähnliche Erſcheinungen bei der Einwirkung von ſalpeterſaurem Silber auf Eiſen. Am eifrigſten hat Schönbein dieſen Gegenſtand verfolgt, und ihm gehört vor Allen das Verdienſt, den Kreis der hierher gehörigen Phänomene durch ſeine Arbeiten am meiſten erweitert zu haben.

Weil Schönbein die Erſcheinungen der Paſſivität des Eiſens (eine Bezeichnung, die durch ihn in die Wiſſenſchaft eingeführt wurde) am vollſtändigſten in ihren verſchiedenen Beziehungen verfolgt hat, dürfte es wohl am zweckmäßigſten ſeyn, ſich, was die Kenntniß der Thatſachen betrifft, vorzugsweiſe an ſeine Abhandlungen zu halten, aus denen ich das Weſentlichſte hier möglichſt überſichtlich zuſammen ſtellen will. Der geehrte Naturforſcher möge mir nicht verübeln, wenn ich hier die Bemerkung nicht unterdrücken kann, daß durch eine eigenthümlich diffuſe Darſtellungsweiſe, welche in dieſem Aufſatze herrſcht, dem Leſer die Orientirung ſehr erſchwert wird.

148 **Schönbein's Beobachtungen über die Paſſivität des Eiſens.** Die erſte Abhandlung Schönbein's, welche hierher gehört, findet ſich in Poggendorff's Annalen (XXXVII. 390).

Es iſt eine längſt bekannte Thatſache, beginnt Schönbein, daß möglichſt waſſerfreie Salpeterſäure mehrere Metalle nicht angreift, während dieſelben von einer mehr waſſerhaltigen Salpeterſäure mit Heftigkeit oxydirt werden; hierher gehört unter andern Zinn, vor allen aber das Eiſen.

Vollkommen roſtfreie Eiſen-Feilſpäne werden mit Salpeterſäure von 1,5 ſpec. Gew. übergoſſen, von der Säure nicht angegriffen. — Läßt man in die über den Feilſpänen ſtehenden Säure ſo viel Waſſer tropfen, daß ſie einen Verdünnungsgrad erhält, bei welchem ſie friſche Eiſenfeile raſch angreifen würde, ſo bleiben die vorher mit der concentrirten Salpeterſäure behandelten Feilſpäne völlig paſſiv.

Ein gleiches Verhalten zeigen Feilſpäne, wenn ſie zuerſt mit Säure von 1,5 angefeuchtet und dann mit verdünnter Säure übergoſſen werden.

Die Behandlung mit concentrirter Salpeterſäure iſt es jedoch nicht

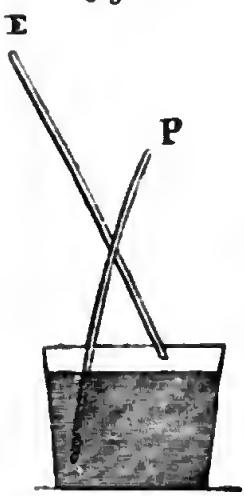
allein, welche das Eiſen paſſiv macht. Eiſenfeile, nur einige Secunden über der Weingeiſtlampe erhitzt, werden weder von concentrirter, noch von verdünnter Salpeterſäure angegriffen.

Dieſe Verſuche laſſen ſich mit Eiſendrähten noch bequemer anſtellen. Ein Eiſendraht, in Salpeterſäure von 1,5 ſpecifiſchem Gewicht eingetaucht, wird paſſiv; ebenſo dadurch, daß man ihn in einer Weingeiſtflamme bis zum Anlaufen erhitzt. Man kann den ſo paſſiv gemachten Draht in verdünntere Säure tauchen, ohne daß er angegriffen wird, während ein gewöhnlicher Eiſendraht eine ſtürmiſche Gasentwicklung veranlaßt. Die Verdünnung der Säure darf nicht über eine gewiſſe Gränze hinausgehen, welche bis jetzt noch nicht beſtimmt iſt; nur ſo viel hat Schönbein ausgemittelt, daß Salpeterſäure von 1,36 ſpec. Gew. mit den 15 und mehrfachen Volumen Waſſer verdünnt, geglühte Eiſendrähte ebenſo angreift, wie gewöhnliche.

Bringt man einen Eiſendraht in Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew., ſo wird er mit ſtürmiſcher Heftigkeit angegriffen; nimmt man den Draht nach etwa einer Secunde wieder aus der Säure heraus, hält man ihn einige Augenblicke in der Luft und taucht ihn dann abermals in die Flüſſigkeit ein, ſo wird die Wirkung der Säure auf das Eiſen ſchon merklich ſchwächer ſeyn; nach drei bis viermaligem Eintauchen und Herausnehmen tritt eine ziemlich langſame Action ein, und bei der fünften, ſpäteſtens bei der ſechsten Eintauchung erfolgt abſolute chemiſche Indifferenz des Eiſendrahtes, welche an dem vollkommen metalliſch glänzenden Zuſtande der Oberfläche des in die Säure tauchenden Drahtendes erkannt wird, der überhaupt das in Salpeterſäure paſſiv gemachte Eiſen charakteriſirt.

Aus den eben mitgetheilten Thatſachen ergiebt ſich noch keinerlei Beziehung zwiſchen der Paſſivität des Eiſens zu ſeinen elektriſchen Eigenſchaften; daß aber ſolche Beziehungen ſtattfinden, ergiebt ſich aber zunächſt aus folgender Methode, das Eiſen paſſiv zu machen.

Fig. 127.



Taucht man in Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew. zuerſt einen Platindraht *P*, Fig. 127, berührt man denſelben mit einem wohl gereinigten Eiſendraht, ſo wird derſelbe nicht von der Säure angegriffen, wenn man ihn in die Flüſſigkeit eintaucht, während er außerhalb fortwährend mit dem Platindraht in Berührung bleibt, obgleich derſelbe Draht für ſich allein lebhaft von der Säure angegriffen wird.

Taucht man ſtatt des Platindrahtes das geglühte und dadurch paſſiv gemachte Ende eines Eiſendrahtes in die Flüſſigkeit, ſo kann dieſer vollkommen die Rolle des Platindrahtes im vorigen Verſuch übernehmen.

Fig. 128. ſtellt eine Variation dieſes Verſuchs dar. Das geglühte und dadurch paſſiv gemachte Ende eines Eiſendrahts werde in Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew. getaucht. — Es wird nicht angegriffen. Biegt man aber nun den Draht um, ſo wird auch das ungeglühte Ende E beim Eintauchen in die Flüſſigkeit nicht angegriffen, während ein heftiger Angriff erfolgt, wenn man das ungeglühte Ende E in die Flüſſigkeit eintaucht, ohne daß ſich das geglühte Ende P ſchon darin befindet.

Fig. 128.

Es muß hier noch beigefügt werden, daß die erwähnten Erſcheinungen der Paſſivität nicht mehr eintreten, wenn die Temperatur der Säure bis auf 80° geſteigert wird, und daß ſie ſich überhaupt um ſo ſchwieriger zeigen, je mehr die Säure ſich dieſem Wärmegrade nähert.

Hat man den Draht E, Fig. 127 in die Flüſſigkeit eingeſchoben, während er außerhalb mit P in Berührung blieb, ſo kann man nun P ganz entfernen, ohne daß der Draht E ſeine Paſſivität verliert; ja man kann mit dem auf die erwähnte Weiſe paſſiv gemachten Drahte E die Paſſivität auf einen weitern gewöhnlichen Eiſendraht in derſelben Weiſe übertragen, wie man ſie von P und E übertrug.

Fig. 129.

Der in Fig. 129 ſchematiſch dargeſtellte Verſuch iſt für die Theorie der Paſſivität von beſonderer Wichtigkeit. An dem einen Drahtende eines Galvanometers befeſtige man einen geglühten Eiſendraht, an dem andern einen gewöhnlichen Eiſendraht. Taucht man nun zuerſt den paſſiven und dann den andern Eiſendraht in Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew. ſo zeigt das Galvanometer einen alsbald wieder vorübergehenden Strom in der Richtung vom Eiſen durch die Flüſſigkeit zum Platin an.

Dieſe Verſuche laſſen uns ſchon einen tiefen Blick in das Weſen der Paſſivität des Eiſens thun. Zunächſt iſt klar, daß die durch das Glühen des Eiſendrahtes gebildete Oxydulſchicht den Eiſendraht vor dem Angriff der Säure ſchützt, und dadurch iſt die Idee nahe gelegt, daß das paſſive Eiſen ſelbſt in ſolchen Fällen, wo eine ſolche Schicht nicht ſichtbar wird, wie z. B. beim Eintauchen in concentrirte Salpeterſäure, dennoch dieſe Eigenſchaft einer dünnen Oxydulſchicht zu verdanken hat. — Dann aber zeigt der Umſtand, daß man den Platindraht, Fig. 127, mit einem geglühten Eiſendraht vertauſchen kann, daß das durch Glühen gebildete Eiſenoxydul ganz wie Platin functionirt, daß durch eine ſolche Oxydulſchicht das Eiſen gewiſſermaßen eine negative galvaniſche Polariſation erleidet.

Alle paſſiven Eiſendrähte werden in heißer Säure wieder in active ver-

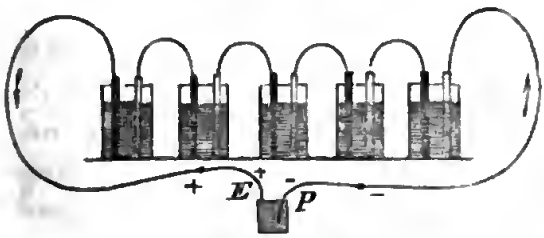
wandelt. Es zeigt ſich jedoch in der Leichtigkeit, mit welcher die Drähte ihren paſſiven Zuſtand mit dem activen vertauſchen, ein beträchtlicher Unterſchied zwiſchen denen, welche durch Glühen paſſiv gemacht ſind, und ſolchen, welche dadurch paſſiv gemacht wurden, daß ſie, einen ſchon paſſiven Draht berührend, in die Flüſſigkeit eingetaucht wurden. Wir wollen erſtere *urſprünglich paſſive*, letztere dagegen *ſecundäre paſſive* nennen. Die urſprünglich paſſiven zeigen wohl nur darum eine größere Beſtändigkeit ihrer Paſſivität, weil ſie durch eine dickere Schicht geſchützt ſind.

Alles was die ſchützende Hülle vernichtet, macht den Draht wieder activ.

Verhalten eiſerner Elektroden. In dem Fig. 127 dargeſtellten 149
Verſuch bildet *E* offenbar den poſitiven Pol einer *einfachen* Kette, es ließ ſich alſo erwarten, daß man Eiſen auch dadurch paſſiv machen kann, daß man es als + Pol einer *Volta'ſchen Säule* in eine Säure taucht, die ihn an und für ſich angreifen würde.

Schönbein hat den Verſuch wirklich angeſtellt (P. A. XXXVII. 391). An dem + Pol einer aus 15 nicht conſtanten Zinkkupferelementen beſtehenden Säule (einige Becher einer conſtanten Batterie reichen zu dieſem Verſuche ebenfalls aus) war ein Eiſendraht befeſtigt, während der negative Pol dieſer Säule mit einem Platindraht endigte. Zunächſt wurde der negative Platindraht in ein Gefäß mit Salpeterſäure von 1,36 ſpec. Gew. eingetaucht und dann die Kette durch Eintauchen des durch den Eiſendraht gebildeten + Pol in dieſelbe Säure geſchloſſen, wie Fig. 130 andeutet; es zeigte ſich dieſer Eiſendraht vollkommen paſſiv, d. h. er wurde von der Säure in keiner Weiſe angegriffen, und beſaß nach Abtrennung von der Säule dieſelben Eigenſchaften, wie ein durch Glühen paſſiv gemachter Draht.

Fig. 130.



Bleibt der paſſive Eiſendraht fortwährend als + Pol der Kette in der Säure eingetaucht, ſo zeigt ſich die merkwürdige Erſcheinung, daß der in Folge der Elektrolyſe an demſelben ausgeſchiedene Sauerſtoff ſich nicht etwa mit dem Eiſen verbindet, ſondern frei an demſelben aufſteigt, gerade ſo, als ob der + Pol der Kette durch einen Platindraht gebildet würde. — Die Oxydſchicht alſo, welche ſich unter den erwähnten Umſtänden gleich beim Eintauchen des Eiſendrahtes in die Flüſſigkeit bildet, ſchützt ihn alſo vollkommen vor fernerer Oxydation.

Zum Gelingen dieſes Verſuchs iſt keineswegs Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gewicht nöthig, man kann dieſelbe noch über ihr 100 faches Volumen mit Waſſer verdünnen und immer noch wird der zuletzt in die Flüſſigkeit

eingetauchte eiſerne + Pol der Säule paſſiv werden, immer noch wird an demſelben ausgeſchiedener Sauerſtoff frei als Gas aufſteigen.

Ganz ähnliche Erſcheinungen finden Statt, wenn anſtatt verdünnter Salpeterſäure verdünnte Schwefelſäure oder Phosphorſäure angewendet wird. Soll in dieſer Säure der Sauerſtoff am poſitiven Eiſendraht ſich frei entwickeln, ſo muß ebenfalls erſt der negative Pol der Säule zuerſt in die Flüſſigkeit eintauchen, und dann erſt der mit dem poſitiven Pol verbundene Eiſendraht in dieſelbe eingeführt werden.

Taucht man den poſitiven eiſernen Poldraht vor dem negativen Poldraht in die verdünnte Säure, ſo wird er angegriffen; eben ſo wenig wird der Eiſendraht paſſiv, wenn man ihn abgetrennt vom poſitiven Pol der Säule in die verdünnte Säure taucht, mag der negative Pol bereits in dieſelbe eingeführt ſeyn oder nicht. Kurz, wenn das Eiſen paſſiv werden ſoll, ſo darf es der chemiſchen Einwirkung der verdünnten Säure nicht vor der Stromwirkung ausgeſetzt ſeyn.

Wendet man ſtatt der verdünnten Säure in dieſem Verſuch die wäſſerige Löſung einer Sauerſtoffverbindung an, welche nicht merklich chemiſch auf das Eiſen einwirkt, wie Löſungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen, ſo wird das Eiſen immer paſſiv, wie man auch die Kette ſchließen mag; bei Anwendung von Kalilauge z. B. oder Salpeterlöſung wird das mit dem poſitiven Pole verbundene Eiſen ſtets paſſiv, man mag nun den negativen oder poſitiven Pol zuerſt in die Flüſſigkeit tauchen. (P. A. XXXVIII. 492).

Darauf gründet ſich die Conſtruction von Voltametern, welche durch Platten von Eiſenblech gebildet ſind, die in Kalilauge eintauchen. In ſolchem Voltameter entwickelt ſich der Sauerſtoff frei an der poſitiven Polplatte, ohne das Eiſen anzugreifen.

Fig. 131.

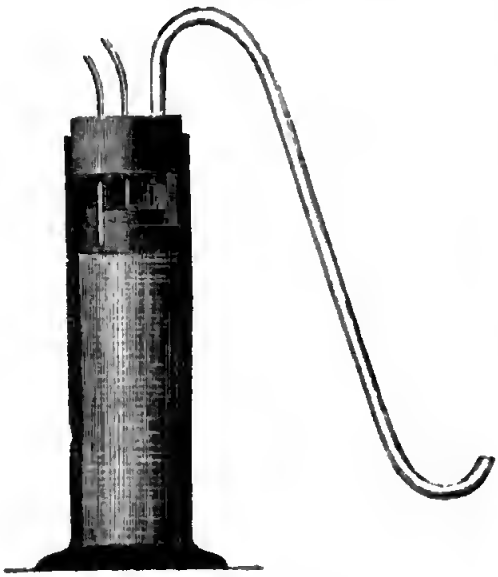


Fig. 131. ſtellt ein von Bunſen conſtruirtes Voltameter mit Eiſenplatten dar. In einem cylindriſchen Standglaſe von 6 bis 8 C. Durchmeſſer und 30 bis 35 Cent. Höhe befinden ſich zwei concentriſche Cylinder von Eiſenblech, welche durch eine von Kalilauge nicht angreifbare und zugleich iſolirende Subſtanz,

am beſten durch Stränge von geſponnenem Glas außer Berührung gehalten werden. Das mit Kalilauge gefüllte Gefäß iſt mit einem wohl paſſenden Kork verſchloſſen, durch welchen, außer dem Gasentbindungsrohre, noch zwei Kupferdrähte hindurch gehen, von denen jeder an einer Eiſenplatte angelöthet iſt, und welche mit den Polen der Säule in Verbindung gebracht werden.

Iſt ein ſolches Voltameter einmal gut hergerichtet, ſo kann man es, mit der Kalilauge gefüllt, immer zum Gebrauch bereit ſtehen laſſen.

Um ein ſtarkes Aufbrauſen der Kalilauge bei der Gasentwickelung zu verhindern, gießt man eine etwa eine Linie hohe Schicht von Terpentinöl darauf.

Mittelſt Eiſenplatten kann man ſich auf dieſe Weiſe ein Voltameter mit verhältnißmäßig großen Elektroden für wenig Koſten verſchaffen. Ein ſolches Voltameter iſt im Stande eine große Menge Knallgas in kurzer Zeit zu liefern, doch iſt die Gasentwickelung bei weitem nicht ſo ſtark, als man nach der Größe der Platten erwarten ſollte, wahrſcheinlich, weil die Kalilauge bedeutend ſchlechter leitet, als die verdünnte Schwefelſäure der gewöhnlichen Platinvoltameter.

Nach meinen Beobachtungen iſt ein ſolches Eiſenblech-Voltameter zu genauen Verſuchen nicht geeignet. Ich habe die Beobachtung gemacht, daß das Maximum der Gasentwickelung erſt einige Zeit nach der Schließung der Kette eintritt, und daß das Aufſteigen der Gasbläschen nicht gleich mit der Unterbrechung des Stromes aufhört, ſondern noch eine Zeit lang fortdauert. Es hat dies wohl in einer Abſorption der Gaſe durch die Flüſſigkeit ſeinen Grund.

Während bei Anwendung wäſſeriger Löſungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen das Eiſen paſſiv wird, wie man auch die Kette ſchließen mag, ſo wird umgekehrt das Eiſen nie paſſiv, auf welche Weiſe auch die Schließung bewerkſtelligt werden mag, wenn die eiſernen Elektroden in eine wäſſerige Löſung einer nicht ſauerſtoffhaltigen elektrolytiſchen Verbindung eingetaucht werden, deren negativer Beſtandtheil eine große Verwandtſchaft zum Eiſen hat, wie Waſſerſtoffſäuren, Halogenſalze, Schwefelmetalle u. ſ. w. In ſolchen Löſungen wird das Eiſen ſtets angegriffen, und es entwickelt ſich nie freier Sauerſtoff an demſelben.

Bei den auf Seite 361 u. 362 beſchriebenen Verſuchen war das urſprünglich paſſive und das ſecundär paſſive Drahtende in daſſelbe mit Säure gefüllte Gefäß eingetaucht worden. Schönbein hat den Kreis der Erſcheinungen dadurch noch mannichfaltiger gemacht, daß er zwei, auf verſchiedene Weiſe verbundene mit Säure gefüllte Gefäße anwandte (P. A. XL. 193.).

Die Gefäße *A* und *B*, Fig. 132, ſeyen mit Salpeterſäure von 1,3 bis 1,36 ſpec. Gew. gefüllt. Taucht man das durch Glühen paſſiv gemachte Drahtende *p* in *A* ein, hierauf das ungeglühte Ende *a* in *B*, ſo wird *a* lebhaft ange-

griffen. Taucht man nun eine zweite Gabel von Eiſendraht, deren beide Enden ungeglüht ſind, ſo ein, daß zuerſt d in B eingeſenkt und dann erſt p' in A eingetaucht wird, ſo wird p' paſſiv, p und p' bleiben unangegriffen, während an a und d eine lebhafte Gasentwickelung ſtattfindet.

Fig. 132.

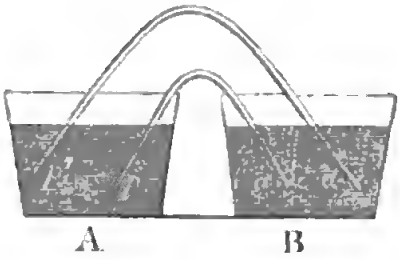
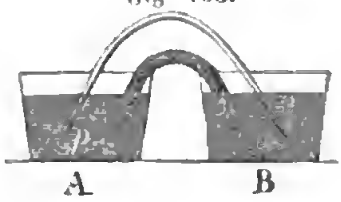


Fig. 133.



Im Weſentlichen iſt dies nichts anderes, als eine andere Form des in Fig. 134 dargeſtellten Verſuchs.

Die mit Säure von 1,3 bis 1,37 gefüllten Gefäße A und B Fig. 133 ſeyen durch ein mit derſelben Säure getränktes Asbeſtbündel verbunden. Man tauche nun in A das paſſive Ende eines Eiſendrahtes ein, und nachher erſt das andere Ende a in B, ſo wird a nicht paſſiv, ſondern es wird lebhaft angegriffen. —

Hier iſt offenbar der Strom, welcher a paſſiv machen ſollte, des zu großen Leitungswiderſtandes wegen, zu ſchwach. Ein Beweis für die Richtigkeit dieſer Anſicht iſt der Umſtand, daß wenn man in A zuerſt den durch einen Platindraht oder paſſiven Eiſendraht gebildeten negativen Pol einer Säule eintaucht und alsdann erſt in B einen mit dem negativen Pol derſelben verbundenen Eiſendraht, daß dieſer nun paſſiv wird.

Erſetzt man bei dem Verſuch Fig. 133 das Asbeſtbündel durch einen mit der Säure gefüllten Heber, ſo iſt der Erfolg der gleiche, d. h. das zuletzt eingetauchte Drahtende a wird nicht paſſiv.

Denſelben Erfolg erhält man, wenn die Gefäße ſtatt durch einen Heber durch einen Platindraht verbunden werden. Hier iſt die galvaniſche Polariſation am Platin die Urſache der Stromſchwächung.

Erſetzt man den Platindraht durch den Draht eines Metalls, welches von der Säure angegriffen wird, ſo fällt der beim Platin auftretende Grund der Stromſchwächung weg, und in dieſem Falle wird auch das zuletzt in B eingetauchte Ende a des Eiſendrahtes paſſiv.

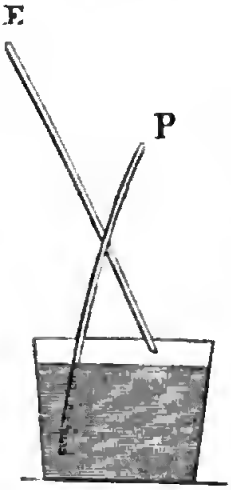
150 **Paſſives Eiſen in einer Löſung von Kupfervitriol.** Ein Eiſendraht mit dem poſitiven Pole einer Säule verbunden und in eine Auflöſung von Kupfervitriol eingeführt, die bereits in Verbindung mit dem negativen Pole ſteht, Fig. 134 (a. f. S.), verhält ſich gegen dieſe Flüſſigkeit vollkommen indifferent, d. h. es ſchlägt ſich an dieſem Draht kein Kupfer nieder, und es entwickelt ſich an ihm Sauerſtoffgas.

Bei jeder andern als der erwähnten Schließungsweiſe tritt dieſe Paſſivität des Eiſens nicht ein.

Ein Eiſendraht, den man durch einmaliges Eintauchen in ſehr concentrirter Salpeterſäure oder durch mehrmaliges in gewöhnliche paſſiv gemacht hat, zeigt dieſe Paſſivität auch gegen eine Auflöſung von Kupfervitriol, d. h. er beſitzt nicht mehr die Fähigkeit, der Flüſſigkeit Sauerſtoff zu entziehen und in Folge deſſen Kupfer zu fällen.

Fig. 134.

Fig. 135.



Wiederholt man den in Fig. 134 dargeſtellten Verſuch, nachdem man die Salpeterſäure mit einer Auflöſung von Kupfervitriol vertauſcht hat, ſo zeigt ſich, daß man die Paſſivität nicht von dem paſſiven Drahtende *P* auf das andere *E* übertragen kann, wie dies in Salpeterſäure der Fall war, d. h. wenn man das durch Eintauchen in concentrirte Säure paſſiv gemachte Drahtende *P* in eine Löſung von Kupfervitriol eintaucht, alsdann den Draht umbiegt, und das Drahtende *E* nun gleichfalls in die Flüſſigkeit einführt, ſo ſchlägt ſich an *E* das Kupfer nieder.

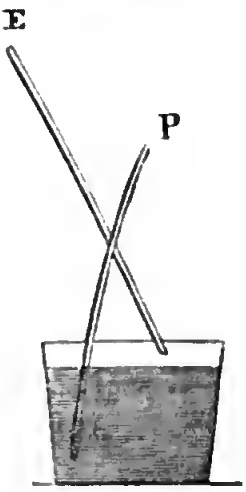
Da ein mit dem poſitiven Pol einer Säule verbundener Eiſendraht ſich ganz anders verhält, ſo vermuthete Schönbein mit Recht, daß der Fig. 134 dargeſtellte Verſuch mit einer Löſung von Kupervitriol nur darum ein negatives Reſultat liefert, weil der Strom, welcher die Paſſivirung des zuletzt eingetauchten Endes bewirken ſoll, bei dieſer einfachen Kette zu ſchwach iſt.

Aus dieſem Grunde iſt überhaupt die Uebertragung der Paſſivität von einem Eiſendraht auf den andern, welche wir oben kennen gelernt haben und welche durch Fig. 135 verſinnlicht worden iſt, bei Anwendung einer Auflöſung von Kupfervitriol ſtatt der Salpeterſäure nicht möglich.

Gelingt es, den Strom dadurch zu verſtärken, daß man den Draht *P* negativer macht als ein Platindraht oder paſſiver Eiſendraht iſt, ſo muß die Uebertragung auch in einer Löſung von Kupfervitriol möglich ſeyn. Von dieſer Betrachtung ausgehend kam Schönbein auf folgende Form des Verſuchs. Das eine Ende eines längeren Eiſendrahtes wurde mit Bleihyperoxyd überzogen und das ſo präparirte Ende *P* in eine Löſung von Kupfervitriol getaucht; wird nun der Draht umgebogen und auch

das nicht präparirte Ende *E*, Fig. 134, in die Flüſſigkeit eingetaucht, ſo zeigt ſich *E* paſſiv, es fällt kein Kupfer.

Fig. 136.



Während der Paſſivirung von *E* verſchwindet hierbei nach und nach das Bleihyperoxyd an *P*, und *P* wird activ, ſobald das Bleihyperoxyd, welches dieſes Drahtende überzieht vollkommen verſchwunden iſt.

Bei der Fig. 136 dargeſtellten Uebertragung der Paſſivität von einem Eiſendraht auf den andern in Salpeterſäure, wird die ſchützende Oxydſchicht auf *E* offenbar dadurch erzeugt, daß durch den Strom dem Drahtende *E* gleich die nöthige Sauerſtoffmenge zugeführt wird. Der Strom aber, welcher in *E* Sauerſtoff ausſcheidet, muß bei *P* Waſſerſtoff entwickeln, welcher der ſchützenden Oxydſchicht von *P* Sauerſtoff entzieht; man ſollte alſo denken, daß der nämliche Strom, welcher die Bildung der ſchützenden Oxydſchicht um *E* veranlaßt, auch das Verſchwinden derſelben an *P* veranlaſſen müſſe, oder mit andern Worten, daß die Paſſivirung von *E* die Activirung von *P* zur Folge haben müßte, vorausgeſetzt, daß *P* ſelbſt nur ein ſecundär paſſiver Draht iſt, alſo nicht durch eine ſehr dicke Schicht geſchützt iſt.

Der Verſuch zeigt aber, daß man mit einem ſecundär paſſiven Draht in Salpeterſäure von 1,36 ſpec. Gew. einen weiteren paſſiv machen kann, ohne daß der erſtere activ wird, was wohl darin ſeinen Grund hat, daß in dem frei werdenden Waſſerſtoff, wenigſtens theilweiſe, durch die Salpeterſäure reducirt wird, alſo die Oxydſchicht nicht völlig reduciren kann. Dauert aber der Strom längere Zeit an, wie es der Fall iſt, wenn man ſtatt *E* einen Zink- oder Kupferſtreifen an *P* herab in die Säure gleiten läßt, welche beide nicht paſſiv werden, ſo wird die ſchützende Schicht um *P* alsbald gelöſt, und *P* ſelbſt activ. Selbſt mit einem Eiſendraht *E* kann man *P* wieder activ machen, wenn man eine verdünntere Säure anwendet.

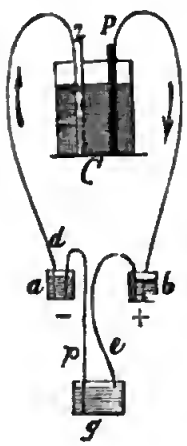
151 **Pulſiren der Paſſivität.** In Betreff der Intenſität, mit welcher die Salpeterſäure einen Eiſendraht angreift, laſſen ſich zwei Hauptgrade unterſcheiden, die wir die langſame und die raſche Einwirkung nennen wollen. Die langſame Einwirkung iſt dadurch charakteriſirt, daß ſie augenblicklich aufgehoben wird, ſobald man den Eiſendraht mit einem in die Säure eingetauchten Platindraht berührt; das der langſamen Ein-

wirkung der Säure ausgeſetzt geweſene Eiſen wird auf dieſe Weiſe paſſiv. — Auf einen Eiſendraht, welcher der raſchen Einwirkung der Säure ausgeſetzt iſt, an welchem alſo eine lebhafte Gasentwickelung ſtattfinden kann, hat dieſe Behandlung mit einem Platindraht keinen Einfluß, er läßt ſich dadurch nicht paſſiv machen.

Hat man einen Eiſendraht durch wiederholtes Eintauchen in Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew. paſſiv gemacht, berührt man ihn, während er ſich noch in dieſer Flüſſigkeit befindet, mit einem Kupfer- oder Meſſingdrahte, welcher gleichfalls in die Säure eingetaucht iſt, ſo wird der Eiſendraht, wie dies ſchon angeführt wurde, activ, und zwar langſam activ. Dieſe Thätigkeit iſt jedoch keine ſtetige, ſondern ſie findet ſtoßweiſe Statt; mit andern Worten, es wird unter dieſen Umſtänden der Eiſendraht abwechſelnd activ und paſſiv, und dies geſchieht anfänglich in Intervallen von etwa einer Secunde, welche jedoch im Verlaufe der Action immer kürzer werden, bis endlich die raſche Wirkung eintritt.

Läßt man jeden der Zutretungsdrähte einer kräftigen einfachen Kette C, Fig. 137, in ein mit Queckſilber gefülltes Näpfchen treten, verbindet man alsdann das Näpfchen a, in welches der negative Leitungsdraht eintaucht, durch einen Platinſtreifen p mit der Flüſſigkeit (11 Raumtheile Waſſer auf 1 Raumtheil Schwefelſäure) der Zerſetzungszelle g; taucht man hierauf das eine Ende eines gewöhnlichen Eiſendrahtes e in das poſitive Queckſilbernäpfchen b, und dann das andere Ende deſſelben Drahtes in das geſäuerte Waſſer der Zerſetzungszelle, ſo wird das Eiſen paſſiv, und es entwickelt ſich begreiflicherweiſe an dem Platinelektroden p kein Waſſerſtoff, da wegen der Polariſation an p die elektromotoriſche Kraft von C nicht hinreicht, einen merklichen Strom durch g hindurchzutreiben.

Fig. 137.



Schließt man die Kette aber auf eine andere Weiſe, etwa ſo, daß man den Eiſendraht e erſt in g und dann in b eintaucht, ſo wird der Eiſendraht nicht paſſiv, g wird ſelbſt zu einer Erregungszelle, deren Strom ſich mit dem des conſtanten Elementes combinirt, und ſo tritt denn an p eine lebhafte Entwickelung von Waſſerſtoff ein, während der Eiſendraht verzehrt wird.

Iſt die Kette ſo geſchloſſen worden, daß e paſſiv iſt, daß alſo an p kein Waſſerſtoffgas aufſteigt, ſo giebt es nun verſchiedene Mittel, e wieder activ zu machen, worauf alsbald das Gas bei p aufzuſteigen beginnt. Ein Mittel, dieſe Gasentwickelung hervorzurufen, beſteht darin, daß man die Kette an irgend einer Stelle unterbricht und nach einiger Zeit wieder

ſchließt; zieht man z. B. den Draht *d* aus *a* heraus, ſo wird *e* alsbald activ, und wenn man nun *d* wieder eintaucht, ſo findet eine lebhafte Gasentwickelung an dem Platinſtreifen *p* Statt.

Um die Paſſivität von *a* zu erhalten, muß das conſtante Element mit einer gewiſſen Energie den Strom durch *g* durchzutreiben ſtreben, deshalb hört ſie auch auf, wenn die Kette unterbrochen wird. Die Energie, mit welcher das conſtante Element den Strom durch *g* hindurch zu treiben ſtrebt, kann aber auch dadurch geſchwächt werden, daß man eine gute Nebenſchließung anbringt.

Verbindet man die Queckſilbernäpfchen *a* und *b* durch einen kurzen dicken Kupferdraht, ſo geht durch dieſen faſt der ganze Strom, welcher das conſtante Element zu erzeugen vermag, *e* verliert ſeine Paſſivität, und nun geht auch ein Theil des von *C* erregten Stromes durch *g*, was ſich durch eine Gasentwickelung kund giebt.

Verbindet man dagegen, während *e* noch paſſiv iſt, *a* und *b* durch einen Draht, welcher einen bedeutenden Leitungswiderſtand ausübt, ſo iſt der Strom, welchen er leiten kann, zu unbedeutend, um eine Aufhebung der Paſſivität des Eiſendrahtes *e* zu veranlaſſen; durch einen ſolchen Draht kann man eine Gasentwickelung an *p* hervorrufen.

Zwiſchen dieſen beiden Gränzen der Leitungsfähigkeit des die Queckſilbernäpfchen *a* und *b* verbindenden Drahtes, dem ſehr gut leitenden nämlich, durch welchen die Paſſivität von *e* vollſtändig aufgehoben und eine dauernde Gasentwickelung an *p* hervorgebracht wird, und dem ſehr ſchlecht leitenden Draht, welcher gar keine Aufhebung der Paſſivität von *e* zu Stande bringen kann, liegt aber eine gewiſſe Drahtlänge in der Mitte, durch welche die Paſſivität von *e* abwechſelnd aufgehoben und wieder hergeſtellt wird, ſo daß an *p* eine ſtoßweiſe, durch Ruhepauſen unterbrochene Gasentwickelung ſtattfindet.

Die Länge und Dicke der Drähte, welche die beſchriebenen Effecte hervorbringen, hängt von den Umſtänden ab. Bei Schönbein's Verſuchen bewirkte ein Kupferdraht von 3 Zoll Länge und $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmeſſer eine dauernde Gasentwickelung an *p*. Ein 40 Fuß langer Draht von derſelben Dicke hob die Paſſivität von *e* nicht auf. Ein Draht von der nämlichen Dicke und 16 bis 20 Fuß Länge brachte aber jene Pulſationen in der Gasentwickelung hervor. Unmittelbar nach der Schließung dauerte es einige Zeit, bis die Gasentwickelung an *p* anfing; ſie war lebhafter als die, welche durch kürzere Drähte hervorgebracht wird, hörte aber nach einigen Secunden wieder auf, um bald wieder zu beginnen. So wechſelten Thätigkeit und Unthätigkeit, bis endlich ein dauernder Zuſtand der Unthätigkeit eintrat (P. A. LVII. 63).

152 **Theorie der Paſſivität.** Beim Ueberblick der bisher beſprochenen

Thatſachen kann wohl die Theorie der Paſſivität kaum mehr zweifelhaft ſeyn, ſie ergiebt ſich aus den Erſcheinungen leicht und ungezwungen, wenn auch manche Einzelheiten noch einer nähern Unterſuchung bedürfen.

Es kann wohl als gewiß betrachtet werden, daß die Erſcheinungen der Paſſivität des Eiſens durch eine Oxydul- oder Oxydſchicht vermittelt werden, welche einerſeits das Eiſen vor dem Angriff der Säure ſchützt, andererſeits aber in ähnlicher Weiſe elektromotoriſch wirkt wie die Bleihyperoxydſchicht, welche eine Platinplatte bekleidet.

Wie dieſe Schicht zuſammengeſetzt iſt, unter welchen Bedingungen ſie ſich bildet, unter welchen ſie ſich auflöſt, ſind freilich Fragen, welche noch keineswegs für alle Fälle genügend beantwortet ſind, doch liegt darin kein Grund, die oben angedeutete Baſis der Erklärung zu verlaſſen.

Die Bildung der Oxydulſchicht beim Glühen der Eiſendrähte iſt klar. — Damit ſich eine ähnliche Schicht beim Eintauchen in eine Flüſſigkeit bilden kann, iſt es nöthig, daß dem Eiſen die zur Bildung der Oxydſchicht nothwendige Menge Sauerſtoff zugeführt wird, bevor noch irgend eine andere chemiſche Einwirkung der Flüſſigkeit auf das Eiſen ſtattfinden kann.

Concentrirte Salpeterſäure iſt ſo reich an Sauerſtoff, daß das bloße Eintauchen eines Eiſendrahtes in dieſelbe genügt, um die paſſiv machende Schicht zu bilden. Wie es kommt, daß ein Eiſendraht durch wiederholtes Eintauchen in Säure von 1,35 paſſiv wird, iſt noch nicht recht klar gemacht.

In Flüſſigkeiten, welche weniger ſauerſtoffreich ſind, muß ein galvaniſcher Strom die Zuführung des Sauerſtoffs an das Eiſen unterſtützen, wenn ſich die Oxydhülle bilden ſoll, und zwar muß die den Strom erregende elektromotoriſche Kraft um ſo ſtärker ſeyn, je weniger leicht ausſcheidenden Sauerſtoff die Flüſſigkeit enthält. In Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew. genügt ſchon die Combination des Eiſendrahtes mit Platin; bei verdünnter Schwefelſäure muß man ſchon eine Volta'ſche Säule in Anwendung bringen.

Daß ein Eiſendraht, welcher durch bloßes Eintauchen in concentrirte oder durch Combination mit Platin in verdünnter Salpeterſäure paſſiv gemacht worden iſt, ſeinen vollen Metallglanz zeigt, kann keinen Grund abgeben, das Vorhandenſeyn einer dünnen Oxydſchicht in dieſem Falle in Zweifel zu ziehen, denn dieſe Schicht muß bei wachſender Dicke die Schattirungen der Newton'ſchen Farbenringe durchlaufen; ſo lange alſo die Schicht nur noch eine den Farben der erſten Ordnung entſprechende Dicke hat, kann ſie dem Metallglanz des Drahtes höchſtens eine ſchwache Nüancirung in's Bläuliche oder Gelbliche ertheilen.

In elektromotoriſcher Beziehung ſteht die das Eiſen paſſiv machende Schicht dem Platin ſehr nahe.

Betrachten wir noch kurz die von verſchiedenen Phyſikern aufgeſtellten Erklärungen der Paſſivitätserſcheinungen.

Faraday (Phil. Magaz. 1836, Juli, Seite 53) nahm an, das Eiſen überziehe ſich in der concentrirten Salpeterſäure mit einer unlöslichen Oxydſchicht. Dieſe Anſicht wurde zwar von manchen Seiten angegriffen; alle Thatſachen in ihrem Zuſammenhange gehörig würdigend, kann man jedoch nicht umhin, dieſelben als die Baſis der richtigen Theorie der Paſſivität zu betrachten.

Mouſſon und de la Rive nehmen an, daß das Eiſen durch eine Schicht ſalpetriger Säure geſchützt werde (P. A. XXXIX. S. 330), eine Hypotheſe, deren Unhaltbarkeit Schönbein (P. A. XXXIX. S. 342) genügend darthut. In der That kann eine ſolche Schicht ſalpetriger Säure ſchon deshalb nicht als Erklärungsgrund der Paſſivität des Eiſens gelten, weil, wie wir geſehen haben, die Paſſivitätserſcheinungen keineswegs auf Salpeterſäure beſchränkt ſind.

Martens ſtellt die Behauptung auf (P. A. XXXVII. 393, LXI. 121), daß die Paſſivität, welche das Eiſen durch Erhitzen annimmt, von ſeiner Oxydation unabhängig ſei, eine Meinung, deren Unzuläſſigkeit ſowohl Schönbein (P. A. LIX. 149) als auch Beetz (P. A. LXII. 234) experimentell widerlegt haben.

Schönbein ſelbſt, welcher doch das meiſte Material zum Aufbau einer Theorie der Paſſivität zuſammenbrachte, hat zwar ſeine Abhandlungen über dieſen Gegenſtand vielfach mit theoretiſchen Betrachtungen durchwebt, glaubt aber nicht, ſich entſchieden für irgend eine der bis dahin vorgeſchlagenen Erklärungen ausſprechen zu können. Er betrachtet alſo die Erklärung der Paſſivitätserſcheinungen als eine noch offen ſtehende Frage.

Die zu Anfang dieſes Paragraphen entwickelten Anſichten über das Weſen und den Grund der Paſſivitätserſcheinungen ſtimmen im Weſentlichen mit denjenigen überein, welche Beetz (P. A. LXVII. 186) und Rollmann (P. A. LXXIII. 406) vertreten. Letzterer hat noch einen neuen Beweis für die Exiſtenz der Oxydſchicht auch bei dem in Flüſſigkeiten paſſiv gemachten Eiſen beigebracht, er hat nämlich gezeigt, daß das Paſſivmachen eines Eiſendrahtes ſtets mit einer Verminderung ſeiner Leitungsfähigkeit verbunden iſt, was offenbar nur einer ſchlecht leitenden Hülle zugeſchrieben werden kann.

Endlich habe ich noch einer neuen Reihe von Verſuchen zu erwähnen, welche Wetzlar 20 Jahre nachdem er zuerſt das chemiſche Publikum mit der merkwürdigen Indifferenz bekannt gemacht hatte, welche

das ſo oxydabele Eiſen in einigen Flüſſigkeiten zeigt, die ihren Sauerſtoff leicht abgeben, angeſtellt hat.

Wetzlar hat das elektromotoriſche Verhalten des auf verſchiedene Weiſe behandelten Eiſens nicht mit dem Galvanometer, ſondern mit einem condenſirenden Bohnenberger'ſchen Elektroſkop unterſucht.

Zu ſeinen Verſuchen gebrauchte er Scheiben von Schmiedeeiſen und Stahl, die bei einer Dicke von einigen Linien $2\frac{1}{2}$ bis $2\frac{3}{4}$ Zoll im Durchmeſſer beſaßen, und mit ihren in Berührung zu ſetzenden, gut abgeſchliffenen Flächen vollkommen auf einander paßten. Die der Berührungsoberfläche entgegengeſetzte Seite beſaß in der Mitte ein Gewinde zum Einſchrauben eines iſolirenden Handgriffs.

Wetzlar fand folgende Reſultate:

1) Wenn man von zwei blanken und metalliſch glänzenden Eiſen- oder Stahlſcheiben, die nach einem vorläufigen Verſuch am Condenſator ſich vollkommen homogen verhalten, die eine mit Roſt oder Smirgelpapier abreibt, ſo verhält ſie ſich poſitiv gegen die andere nicht abgeriebene.

In dieſem Falle reichten 8 bis 10 Berührungen und Uebertragungen an die Collectivplatte des Condenſators hin, um dieſen eine vollſtändige Ladung zu erheilen.

2) Befeuchtet man die Berührungsoberfläche einer blanken Stahlſcheibe mit deſtillirtem Waſſer, führt man dieſes 1—2 Minuten mit reinem Fließpapier reibend auf derſelben herum, ſo verhält ſich die Scheibe nach dem Abtrocknen negativ gegen eine zweite, vorher mit ihr homogen geweſenen.

3) Wird eine Eiſenſcheibe über der Weingeiſtlampe bis zum unmerklichen oder ſichtbaren Anlaufen erhitzt, ſo verhält ſie ſich, nach dem Erkalten geprüft, ſehr ſtark negativ gegen eine nicht ſo behandelte, ſo daß ſchon drei Uebertragungen zur vollſtändigen Ladung des Condenſators hinreichten. Eine ſolche Scheibe verhält ſich negativ gegen Kupfer, Silber und Gold.

Paſſivität anderer Metalle. Andere Metalle, namentlich Wismuth, Kupfer und Zinn, zeigen ähnliche Paſſivitätserſcheinungen wie das Eiſen, wenn auch in weniger ausgezeichneter Weiſe. Andrews (P. A. XLV. 121) machte die Beobachtung, daß ein Stückchen Wismuth, welches in eine große Menge Salpeterſäure von 1,4 ſpec. Gew. getaucht, und darauf in der Flüſſigkeit mit einer Platinplatte berührt worden war, faſt ganz aufhörte ſich zu löſen, und zugleich einen eigenthümlichen Glanz annahm, während dieſes Metall von derſelben Säure für ſich allein heftig angegriffen wurde. 153

Als eine kleine Wismuthſtange zum poſitiven Pole einer kleinen Batterie von zwei Grove'ſchen Plattenpaaren gemacht und in Salpeter-

ſäure von 1,4 ſpec. Gew. getaucht wurde, ward ihre Löslichkeit ſogleich gehemmt, und bei Aufhebung der Verbindung mit der Batterie zeigte ſie ſich in den paſſiven Zuſtand verſetzt.

Beim paſſiven Zuſtand des Wismuths iſt jedoch ſeine Auflöſung in der Säure nicht gänzlich aufgehoben, wie beim paſſiven Eiſen, ſie iſt nur in eine langſame Auflöſung verwandelt. Als poſitiver Pol einer Säule entwickelt das Wismuth nicht, wie dies beim paſſiven Eiſen der Fall iſt, freien Sauerſtoff (Schönbein in P. A. XLIII.), ſondern es wird gelöſt, und zwar langſam, wenn man eine ſchwache, raſcher, wenn man eine ſtärkere Säule anwendet.

Die ſchützende Schicht wirkt alſo beim Wismuth in ähnlicher Weiſe wie beim Eiſen, nur iſt ſeine ſchützende Kraft geringer.

Auch an Zinn und Kupfer hat Andrews derartige Paſſivitätserſcheinungen beobachtet.

Beetz macht die Bemerkung (P. A. LXVII. 210), daß der Grund, weshalb das Eiſen beſonders zur Paſſivität disponirt iſt, wohl in der großen elektriſchen Differenz zwiſchen dem Eiſen und ſeinem Oxyd liege. Nach dieſer Anſicht muß ein Metall die Paſſivitätserſcheinungen um ſo ſtärker zeigen, je größer die elektromotoriſche Kraft zwiſchen ihm und ſeinem Oxyd iſt.

Vierter Abſchnitt.

Galvaniſche Licht- und Wärmephänomene.

Wärmeentwickelung durch den galvaniſchen Strom. Die Geſetze der Wärmeentwickelung, welche der galvaniſche Strom in Metalldrähten hervorbringt, wurden von Joule (Phil. magazine, Oct. 1841) und von Lenz (P. A. LIX. S. 203 und 407, LXI. S. 18) unterſucht. 154

Da der Aufſatz von Joule in meiner nähern Umgebung nicht vorhanden iſt, ſo beſchränke ich mich darauf, nur über die Arbeit von Lenz zu berichten, was wohl genügen wird, da die Reſultate des ruſſiſchen Phyſikers mit denen des engliſchen übereinſtimmen.

Die beiden erſten Abtheilungen des Aufſatzes von Lenz im 59ſten Bande von Poggendorff's Annalen enthalten nur Vorbereitendes, worüber wir kurz hinweggehen können.

Zur Meſſung der Stromkraft bediente ſich Lenz einer Nervander'ſchen Tangentenbuſſole, welche auf das ſorgfältigſte gearbeitet und geprüft war. Durch genaue Verſuchsreihen überzeugte ſich Lenz davon, daß bis zu 40° die Stromſtärken der Tangenten des Ablenkungswinkels proportional ſind.

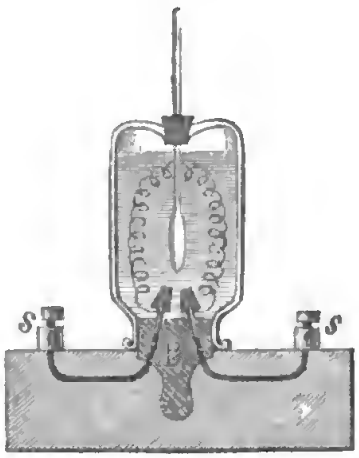
Auch mit der Waſſerzerſetzung hat Lenz ſeine Tangentenbuſſole verglichen. Als Reſultat ſeiner zahlreichen genauen Verſuche ergiebt ſich, daß man die Tangente des beobachteten Ablenkungswinkels mit 39,3 zu multipliciren habe, um die dieſem Strom entſprechende reducirte Menge Knallgas für die Minute in Kubikcentimetern ausgedrückt zu erhalten. Als Einheit des Stromes nimmt Lenz denjenigen an, welcher 1° Ablenkung an ſeine Tangentenbuſſole hervorbringt, und dieſe liefert 0,686 K.C. Knallgas in der Minute. — Da unſere Stromeinheit diejenige iſt, welche 1 K.C. Knallgas in der Minute liefert, ſo iſt klar, daß man die Lenz'ſchen Werthe der Stromſtärke mit 0,686 multipliciren muß, um ſie auf

unſere Stromeinheit zu reduciren. In dem Folgenden werde ich ſtatt der Lenz'ſchen Werthe für die Stromſtärke gleich die reducirten ſetzen.

Als Einheit des Widerſtandes nimmt Lenz den Widerſtand einer Windung ſeines Rheoſtaten (Agometers) von Neuſilber an, welcher nach ſeinen Angaben gleich iſt dem Widerſtande eines 6,358 engl. Fuß langen Kupferdrahtes, der einen Durchmeſſer von 0,0336 engl. Zollen hat. Daraus ergiebt ſich, daß dieſe Widerſtandseinheit gleich 2,66 der unſrigen iſt; die Lenz'ſchen Werthe des Widerſtandes müſſen alſo mit 2,66 multiplicirt werden, wenn man ſie auf unſere Einheit reduciren will.

Um die Wärme zu meſſen, welche in einem Metalldraht durch den galvaniſchen Strom entwickelt wird, wandte Lenz den beiſtehend gezeichneten Apparat, Fig. 138, an.

Fig. 138.



In der Mitte eines Brettes iſt der Glasſtöpſel *B* befeſtigt, welcher in den Hals einer Glasflaſche eingeſchliffen iſt, ſo daß dieſe vermittelſt etwas Fett luft- und waſſerdicht aufgeſetzt werden konnte. — Eine in der Figur fortgelaſſene Meſſingklammer drückt den untern horizontalen Rand des Flaſchenhalſes an das Brett an, ſo daß die Flaſche ſelbſt bei heftigen Bewegungen des Apparates nicht herabfällt. — Die Flaſche hat oben, alſo eigentlich in ihrem Boden, ein cylindriſch eingeſchliffenes Loch, in welches ſowohl die Flüſſigkeit eingegoſſen, als auch mittelſt eines Korkes ein Thermometer eingeſetzt werden kann. Dieſes Thermometer war in $\frac{1}{5}$ Grade getheilt.

Durch den Glasſtöpſel gehen zwei eingebohrte und feſtgekittete Drahtſtücke von ungefähr 1 Linie Durchmeſſer hindurch. Ihr oberes in die Flaſche hineinragendes und hier etwas coniſch zugehendes Ende iſt von Platin; dieſe Platinkegel ſind unten an gleich dicke Kupferdrähte angelöthet, welche, in das Brett eingelaſſen, zu den Schraubklemmen *s* führen, in welche die von den Polen der Kette kommenden Zuleitungsdrähte eingeſchraubt werden.

Der Draht, welcher erwärmt werden ſoll, iſt vorläufig um einen cylindriſchen 1 bis 2 Linien dicken Stift zu einer Spirale gewunden und mit ſeinen Enden mittelſt zweier Platinklötzchen auf den Platinkegeln feſtgeklemmt. Er hält ſich durch ſeine Elaſticität aufrecht, ohne mit ſeinen Windungen irgendwo anzurühren.

Die Flüſſigkeit, mit welcher die Flaſche immer wenigſtens ſo weit ge-

füllt war, daß die Drahtſpirale ganz untertauchten, war Weingeiſt von 85 bis 86 Procent Alkohol, indem Waſſer noch ein ſo guter Leiter iſt, daß ein Theil des Stromes nicht durch den Draht, ſondern durch das Waſſer hindurchgeht, was man ſogleich an einer ſchwachen Gasentwickelung erkennt.

Nachdem die Drahtſpirale gehörig befeſtigt und eine gemeſſene Quantität Weingeiſt in die Flaſche eingefüllt war, wurde der Apparat zugleich mit dem Multiplicator (Nervander'ſche Tangenbuſſole) und dem Rheoſtat in den Schließungsbogen einer Daniell'ſchen Batterie gebracht. — Mittelſt des Rheoſtaten wurde der Strom ſtets auf einer beſtimmten Stärke erhalten; unterdeſſen wurde beobachtet, welche Zeit erforderlich iſt, damit das Thermometer im Weingeiſt um eine beſtimmte Anzahl von Graden ſteigt. Dabei wurde durch ein Herumdrehen des Apparates in einem kleinen Kreiſe die Flüſſigkeit in eine rotirende Bewegung gebracht, wodurch eine gleichmäßige Vertheilung der Temperatur im Inneren der Flüſſigkeit erzielt wurde.

Um die Fehler zu vermeiden, welche durch den Wärmeverluſt an die Umgebung veranlaßt werden, wurde der Weingeiſt unter die Temperatur der Umgebung erkaltet in die Flaſche eingefüllt, und der Verſuch geſchloſſen, als ſeine Temperatur gerade um eben ſo viele Grade über die Lufttemperatur geſtiegen war, als ſie anfänglich darunter ſtand.

Um den Gang der Unterſuchung verſtändlich zu machen, mag hier derſelbe für eine Verſuchsreihe ausführlich auseinander geſetzt werden.

Die Temperatur der Luft betrug 16° R. Der Weingeiſt wurde durch Eis bis auf 7° erkaltet in die Flaſche eingefüllt und nach der Schließung der Kette mittelſt des Rheoſtaten die Nadel des Multiplicators fortwährend auf 35° erhalten; es wurden nun an einer Secundenuhr die Momente beobachtet, in welchen die Temperatur des Weingeiſtes 10, 11, 12, 13, 14 und 15 Grad betrug, dann ferner die Momente, in denen ſie 16, 17, 18 u. ſ. w. bis 22 Grad war.

Es ergab ſich, daß die Zeit, welche nöthig iſt, um die Temperatur des Weingeiſtes von

15	bis	17,	alſo	um	2°	zu	erhöhen . . .	1,05	Minuten
14	»	18	»	»	4	»	»	2,22	»
13	»	19	»	»	6	»	»	3,25	»
12	»	20	»	»	8	»	»	4,30	»
11	»	21	»	»	10	»	»	5,42	»
10	»	22	»	»	12	»	»	6,53	»

betrug, daraus ergiebt ſich, daß die Zeit t, welche nöthig war, um die Temperatur des Weingeiſtes um 1° zu erhöhen, im Durchſchnitt 0,542 Minuten betrug.

Der Leitungswiderſtand des Spiraldrahtes wurde dadurch ermittelt, daß man nach Entfernung des Apparates Fig. 138 aus dem Schließungsbogen beobachtete, wie viel Rheoſtatenwindungen in die Schließung noch eingeführt werden mußten, um den Strom wieder auf dieſelbe Größe zu bringen, welche er bei Einſchaltung des Erwärmungsapparates gehabt hatte.

In der folgenden Tabelle ſind die Reſultate einer großen Anzahl ſolcher Verſuchsreihen zuſammengeſtellt:

Nummer der Verſuchsreihe	Drahtſorte	s	t	l
1	Neuſilber a	6,93	1,349	93,50
2	»	10,53	0,571	93,63
3	»	14,30	0,300	93,94
4	Neuſilber b	10,53	0,920	58,76
5	»	14,30	0,481	58,64
6	»	18,32	0,288	59,01
7	»	14.30	0,457	60,16
8	Neuſilber c	18,32	0,384	44,59
9	Platin	14,30	0,555	50,45
10	»	18,32	0,325	51,41
11	Eiſen	22,69	0,435	24,92
12	Kupfer	18,32	1,301	13,90
13	»	22,69	0,835	13,90
14	»	27,52	0,575	13,92
15	»	32,98	0,381	14,01
16	»	27,52	0,544	14,31

Es waren drei verſchiedene Neuſilberdrähte zu den Verſuchen angewandt worden; der mit a bezeichnete war der dünnſte, b war etwas dicker als a, c endlich etwas dicker als b.

In dieſer Tabelle bezeichnet s die Stromſtärke und l den Leitungswiderſtand des Drahtes in unſeren Einheiten ausgedrückt; t iſt die Zeit, welche nöthig iſt, um die Temperatur des Weingeiſtes um 1^0 zu erhöhen. Wie der jedesmalige Werth von t als Reſultat einer Verſuchsreihe ermittelt wird, iſt bereits oben angegeben worden.

Die Quantität des in die Flaſche gegoſſenen Weingeiſtes war immer faſt ganz genau dieſelbe und zwar im Mittel 90 Gramm.

Vergleicht man alle diejenigen Verſuchsreihen miteinander, bei welchen die Stromſtärke dieſelbe war, ſo ergiebt ſich, daß das Product von t und l ſehr nahe conſtant bleibt. Es ergiebt ſich:

Für den Strom 10,53:

2) Neuſilber a . . $tl = 53{,}46$
4) Neuſilber b . . $tl = 54{,}06$.

Für den Strom 14,30:

3) Neuſilber a . . $tl = 28{,}18$
5) Neuſilber b . . $tl = 28{,}11$
7) Neuſilber b . . $tl = 27{,}49$
9) Platin . . . . $tl = 28{,}00$.

Für den Strom 18,32:

6) Neuſilber b . . $tl = 16{,}99$
8) Neuſilber c . . $tl = 17{,}12$
10) Platin . . . . $tl = 16{,}71$
12) Kupfer . . . . $tl = 18{,}08$.

Für den Strom 22,69:

11) Eiſen . . . . $tl = 10{,}84$
13) Kupfer . . . . $tl = 11{,}60$.

Die Gleichheit der Werthe von tl für ein und denſelben Strom iſt ſo augenfällig, daß die Annahme gerechtfertigt iſt, die Erwärmungszeit ſey dem Leitungswiderſtand umgekehrt proportional, oder mit anderen Worten, die Erwärmungen in beſtimmter Zeit ſeyen dem Leitungswiderſtand direct proportional und unabhängig von der ſonſtigen Natur des Metalles.

Um die Abhängigkeit der Wärmeerzeugung von der Stromſtärke zu ermitteln, müſſen wir die Verſuche zuſammenſtellen, welche mit demſelben Drahte bei verſchiedenen Strömen angeſtellt wurden; es zeigt ſich alsdann, daß für denſelben Draht $s^2 t$ nahezu eine conſtante Größe iſt. Es ergiebt ſich nämlich:

Für den Neuſilberdraht a:

1) . . . . $s^2 t = 64{,}8$
2) . . . . $s^2 t = 63{,}3$
3) . . . . $s^2 t = 61{,}3$.

Für den Neuſilberdraht b:

4) . . . . $s^2 t = 102{,}0$
5) . . . . $s^2 t = 98{,}4$
6) . . . . $s^2 t = 96{,}7$
7) . . . . $s^2 t = 93{,}5$.

Für den Platindraht:

9) . . . . $s^2 t = 113{,}5$
10) . . . . $s^2 t = 109{,}1.$

Für den Kupferdraht:

12) . . . . $s^2 t = 436{,}6$
13) . . . . $s^2 t = 429{,}9$
14) . . . . $s^2 t = 435{,}5$
15) . . . . $s^2 t = 414{,}2$
16) . . . . $s^2 t = 412{,}0.$

Durch dieſe Verſuche iſt alſo dargethan:

1) Die Wärmeentwickelung iſt dem Leitungswiderſtande der Drähte proportional.
2) Die Wärmeentwickelung iſt den Quadraten der Stromſtärke proportional.

Wenn demnach t die Zeit iſt, welche erfordert wird, damit durch den Strom s bei dem Leitungswiderſtande l eine gegebene Weingeiſtmaſſe um 1^0 R. erwärmt werde, ſo iſt $s^2 t l$ die Zeit, welche nöthig iſt, damit dieſelbe Weingeiſtmaſſe eine Temperaturerhöhung von 1^0 R. durch die Einheit der Stromſtärke bei der Einheit des Leitungswiderſtandes erfahre. — Da nun für alle in obiger Tabelle die Weingeiſtmaſſe ſehr nahe dieſelbe war, ſo muß auch das Product $s^2 t l$ für alle in der Tabelle verzeichnete Verſuchsreihen ſehr nahe dieſelben ſeyn. Es ergeben ſich für das Product $s^2 t l$ für die verſchiedenen Verſuchsreihen folgende Werthe.

Verſuchsreihe.	$s^2 t l.$
1	6059
2	5927
3	5758
4	5994
5	5770
6	5706
7	5625
8	5747
9	5726
10	5609
11	5975
12	6069
13	5976
14	6062
15	5803
16	5896
Mittel . . .	5856.

Die Maſſe des Weingeiſtes, welcher in den obigen Verſuchsreihen erwärmt wurde, betrug ſammt der zu erwärmenden, in Beziehung auf ſpecifiſche Wärme auf Weingeiſt reducirte Glasmaſſe 118 Gramm.

Die Einheit der Stromſtärke, durch einen Draht hindurchgehend, welcher die Einheit des Leitungswiderſtandes ausübt, entwickelt alſo ſo viel Wärme, daß dadurch die Temperatur von 118 Gramm Weingeiſt in 5856 Minuten um 1° R. erhöht wird.

Die ſpecifiſche Wärme des zu den beſprochenen Verſuchen benutzten Weingeiſtes iſt 0,7; eine beſtimmte Temperaturerhöhung von 118 Grammen Weingeiſt erfordert alſo ebenſo viel Wärme, wie eine gleiche Temperaturerhöhung von 118 . 0,7 = 82,6 Grammen Waſſer. — Für 1 Gramm Waſſer beträgt alſo jene Zeit

$$\frac{5856}{82,6} = 70,9 \text{ Minuten,}$$

oder wenn man ſtatt der Reaumür'ſchen Grade Celſius'ſche einführt

$$70,9 \,.\, 0,8 = 56,72 \text{ Minuten *),}$$

d. h. wenn die Einheit der Stromſtärke einen Draht durchläuft, deſſen Widerſtand gleich iſt dem eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1^{mm} Durchmeſſer, ſo wird dadurch eine ſolche Wärmemenge erzeugt, daß ſie die Temperatur von 1 Gramm Waſſer in 56¾ Minuten um 1° C. erhöht.

Nehmen wir, wie es gewöhnlich geſchieht, als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge an, welche die Temperatur von 1 Kilogramm Waſſer um 1° erhöht, ſo ergiebt ſich alſo aus obigen Unterſuchungen, daß die Einheit der Stromſtärke, die Einheit des Widerſtandes durchlaufend, in demſelben in einer Stunde 0,001057 und in einer Minute 0,0000176 Wärmeeinheiten erzeugt.

Betrachtungen über die Lenz'ſchen Reſultate. Nachdem Lenz 155
das Verhältniß zwiſchen Stromſtärke und Wärmeentwickelung in einem metalliſchen Schließungsdrahte entwickelt hat, liegt die Idee nahe, die im Schließungsdrahte erzeugte Wärme mit der Menge des in den Erregungszellen durch Waſſerzerſetzung gebildeten Knallgaſes zu vergleichen, ein näheres Eingehen in die Sache zeigt aber bald, daß eine ſolche Vergleichung zu keinem conſtanten Reſultate führen kann.

Wenn für eine beſtimmte Anordnung der Volta'ſchen Kette und einen beſtimmten Schließungsdraht ein beſtimmtes Verhältniß zwiſchen Knallgas

*) In der Lenz'ſchen Abhandlung ſcheint bei der entſprechenden Berechnung (P. A. LXI. 42.) durch Verwechſelung von Minuten und Secunden ein Irrthum eingeſchlichen zu ſeyn.

und Wärmeentwickelung ſtattfindet, ſo ändert ſich dieſes Verhältniß, ſobald man caeteris paribus nur den weſentlichen Leitungswiderſtand der Kette oder die elektromotoriſche Kraft derſelben ändert, denn durch die eine Aenderung ſowohl, wie durch die andere wird die Stromſtärke verändert; in Folge deſſen ändert ſich die Knallgasbildung in demſelben Verhältniß wie die Stromſtärke, während die Wärmeentwickelung im Verhältniß des Quadrats der Stromſtärke zunimmt; das Verhältniß zwiſchen Knallgas und Wärmeentwickelung muß alſo nothwendig ein anderes werden, man kann demzufolge auch die im Schließungsbogen freiwerdende Wärme durchaus nicht als ein thermiſches Aequivalent des in den Erregungszellen entwickelten Knallgaſes betrachten, es kann mithin auch kein beſtimmtes Verhältniß beſtehen zwiſchen der Wärme, welche durch Verpuffung einer beſtimmten Menge Knallgas erzeugt wird, und derjenigen, welche bei Entwickelung einer gleichen Knallgasmenge in den Erregungszellen einer galvaniſchen Kette in dem Schließungsbogen derſelben frei wird. —

Noch immer iſt es nicht gelungen, eine, wenn auch nur annähernd richtige Vergleichung zwiſchen der elektriſchen Quantität der Elektriſirmaſchine und dem Volta'ſchen Apparate aufzuſtellen. Nachdem Lenz genaue Unterſuchungen über die Wärmeentwickelung durch den galvaniſchen Strom und Rieß zuverläſſige quantitative Beſtimmungen der Wärme gemacht hat, welche in einem Drahte frei wird, den der Entladungsſchlag einer Leidner Flaſche durchläuft, ſcheint auf den erſten Anblick ein Anhaltspunkt für dieſe Vergleichung gegeben, aber auch hier iſt das Reſultat der Betrachtung ein negatives.

Von der ziemlich bedeutenden Erwärmung ausgehend, welche der Entladungsſchlag der Flaſche in Metalldrähten hervorbringt, ſollte man auf eine ziemlich bedeutende Quantität der hier in Wirkung tretenden Elektricität ſchließen; den auf Seite 118 angeführten Verſuchen zufolge beträgt für $\frac{q^2}{s} = 1$ die Erwärmung in dem Platindraht des Lufthermometers 0,3787, oder in runder Zahl 0,4. — Jener Draht hatte einen Durchmeſſer von 0,072‴ und eine Länge von 59,7‴, wonach er ungefähr 60 Milligramm wiegt; eine Erwärmung dieſes Drahtes um 0,4° erfordert alſo, wie man leicht berechnen kann, 0,000000768 Wärmeeinheiten.

Sehen wir nun, welche Wärmemenge in demſelben Platindraht durch die galvaniſche Stromeinheit freigeworden wäre. — In der Einheit des Widerſtandes erzeugt die Stromeinheit 0,0000176 Wärmeeinheiten in der Minute; der Leitungswiderſtand jenes Platindrahtes iſt aber, wie ſich leicht berechnen läßt, gleich 6, folglich würden in ihm durch die Stromeinheit $0{,}0000176 \times 6 = 0{,}0001$ Wärmeeinheiten erzeugt worden ſeyn.

Die Erwärmung, welche der Entladungsſchlag der Flaſche für $\frac{q^2}{s} = 1$ in dem Platindraht hervorbringt, nämlich 0,000000768, iſt alſo nahezu $^1/_{100}$ von derjenigen, welche die Einheit der Stromſtärke in dieſem Drahte in einer Minute erzeugt.

Wenn $s = 1$, d. h. wenn die Elektricität auf einer der ſeiner Zeit beſprochenen Flaſchen angehäuft wird, ſo muß q auch gleich 1 ſeyn; für $s = 1$ und $q = 10$, d. h. alſo wenn die Flaſche durch 10 Funken der Maaßflaſche unter den früher entwickelten Verhältniſſen geladen wird, ſo muß alſo auch ihr Entladungsſchlag in einem Metalldraht eine Erwärmung hervorbringen, welche nahezu derjenigen gleich iſt, welche die Einheit der Stromſtärke in 1 Minute in denſelben Draht erzeugt. Um aber die Ladung $q = 10$ auf die Flaſche zu bringen, wird wohl das Drehen der Maſchine kaum eine Minute fortgeſetzt werden müſſen; bei oberflächlicher Betrachtung könnte man alſo, von Wärmeentwickelung ausgehend, zu dem Schluß kommen, daß durch das Drehen der Maſchine in einer Minute nahezu eine Elektricitätsmenge erzeugt wird, welche der chemiſchen Einheit der galvaniſchen Stromſtärke gleich iſt.

Daß aber eine ſolche Vergleichung, oder vielmehr ein ſolcher aus dieſer Vergleichung gezogener Schluß durchaus unzuläſſig iſt, geht ſchon aus dem Umſtande hervor, daß man mittelſt der Elektriſirmaſchine keine merkliche Waſſerzerſetzung erhält, während man mit Leichtigkeit 1 Kubik-Centimeter Knallgas pr. Minute erhalten müßte, wenn jener Schluß auf die elektriſche Quantität der Elektriſirmaſchine zuläſſig wäre.

Eine genauere Betrachtung zeigt aber auch bald, daß der Entladungsſchlag der Flaſche und der galvaniſche Strom unter ganz verſchiedenen nicht vergleichbaren Umſtänden erwärmend auf den Draht wirken.

Dieſelbe Flaſchenladung, in längerer Zeit durch einen Draht entladen, bringt in demſelben eine geringere Erwärmung hervor, und die Erwärmung wird unmerklich, ſobald die Entladungszeit eine meßbare Dauer erhält; wenn man alſo die Elektricitätsmenge, welche durch minutenlanges Drehen der Maſchine auf einer Flaſche angehäuft bei ihrem Entladungsſchlag den Draht merklich erwärmt, wenn man dieſelbe Elektricitätsmenge ſich in continuirlichem Strom während einer Minute durch den Draht entladen läßt, ſo iſt die durch dieſen Strom bewirkte Erwärmung unmerklich. — Ein ſolcher Strom aber iſt allein mit dem galvaniſchen vergleichbar. Um die Maſchinenelektricität mit der galvaniſchen in Beziehung auf Quantität zu vergleichen, müßte man die Erwärmung meſſen können, welche die von dem Conductor der Maſchine durch einen Metalldraht abfließende Elektricität in demſelben hervorbringt. Die momentane Entladung einer angehäuften Elektricitätsmenge kann nicht direct

mit einem continuirlichen Strome verglichen werden. Daß bei der Wärmeentwickelung des Entladungsſchlages der Leidner Flaſche der Vorgang ein ganz anderer iſt, als bei der Erwärmung durch den galvaniſchen Strom, geht auch ſchon daraus hervor, daß es bei dem Entladungsſchlag gar nicht allein auf die Quantität der Elektricität ankommt, welche durch den Draht entladen wird, ſondern auch auf die Größe der Oberfläche, auf welcher ſie vorher vertheilt war; bei der Erwärmung durch den Entladungsſchlag kommen alſo noch Factoren in Betracht, von denen bei dem Strom gar nicht die Rede iſt. Der galvaniſche Strom und der Entladungsſchlag haben in Beziehung auf die Erwärmung von Metalldrähten nur das gemein, daß die Erwärmung dem Quadrat der elektriſchen Quantität und dem Widerſtand des durchlaufenen Drahtes proportional iſt.

156 **Glühen von Metalldrähten durch den galvaniſchen Strom.** Während über die Glüherſcheinungen von Metalldrähten durch den Entladungsſchlag der Leidner Flaſche die ſchönen Arbeiten von Rieß Licht verbreitet haben, fehlt es an entſprechenden Unterſuchungen über das galvaniſche Glühen, obgleich dieſe mit weniger Schwierigkeiten verbunden ſeyn dürften als jene. —

In der ſchon erwähnten Abhandlung Caſſelmann's: »über die galvaniſche Kohlenzinkkette, Marburg 1844«, findet ſich auf Seite 43 folgende Bemerkung:

»Ein Platindraht von bedeutender Länge, als Schließungsdraht angewandt, wird nicht glühend, ſondern erſt dann, wenn er auf eine beſtimmte Länge verkürzt iſt. Verkürzt man ihn aber darüber hinaus immer mehr und mehr, ſo bekommt man ihn zuletzt von einer Länge, bei der er nicht mehr glühend wird, woraus hervorgeht, daß das Glühendwerden eines Schließungsdrahtes nur bei einem beſtimmten Verhältniſſe ſeines Leitungswiderſtandes zu dem Quantum der ſich durch ihn hindurchzwängenden Elektricität ein Maximum erreicht.«

Wenn der Strom einer Säule, durch einen Draht gehend, denſelben glühend macht, ſo muß bei Verkürzung des Drahtes die Stromſtärke wachſen, und es erſcheint deshalb nicht recht glaublich, daß der ſtärkere Strom das kürzere Drahtſtück nicht mehr glühend machen ſoll. Um über dieſen Punkt einigermaßen Licht zu erhalten, ſtellte ich ſelbſt eine Verſuchsreihe an, da, wie bereits bemerkt, bis jetzt noch keine weiteren Unterſuchungen über die Geſetze des galvaniſchen Glühens gemacht worden ſind.

Meine Verſuche waren folgendermaßen angeordnet. In dem Schließungsbogen der Säule *S* (Fig. 139 a. f. S.) war bei *H* ein ſogleich näher zu beſchreibender Drahthalter, bei *B* eine Tangentenbuſſole eingeſchal-

tet. Bei Q befand ſich ein Queckſildernäpfchen, vermittelſt deſſen die Kette leicht geöffnet und geſchloſſen werden konnte.

Der Drahthalter iſt Fig. 140 dargeſtellt. Auf einem Brette ſtehen zwei Meſſingſäulchen; an jedem derſelben ſind zwei Hülſen verſchiebbar.

Fig. 139.

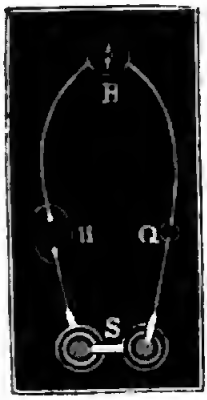
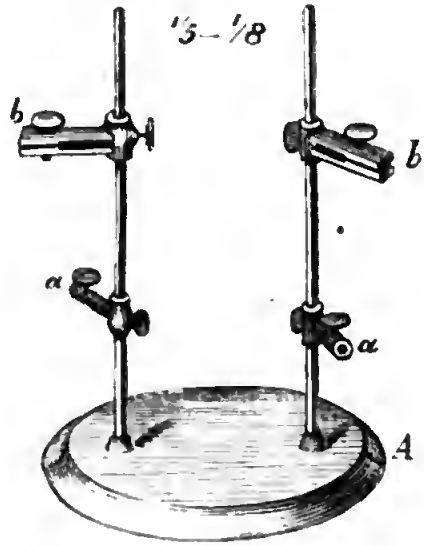


Fig. 140.



In die eine der Hülſen a wird der von dem einen Pole der Säule kommende Verbindungsdraht in die andere derjenigen eingeſchraubt, welche nach der Tangentenbuſſole führt. Die Hülſen b dienten, um zwiſchen ihnen den Verſuchsdraht auszuſpannen, und zwar bevor die Kette geſchloſſen war.

Die Verbindungsdrähte zwiſchen S, H, B, Q und S waren Kupferdrähte von ungefähr $^3/_4$ Linien Dicke und einer Geſammtlänge von höchſtens 5 Metern, ſo daß ihr Widerſtand nicht bedeutend war.

Nachdem der Verſuchsdraht bei H gehörig eingeſchaltet und alle übrigen Verbindungen gehörig hergeſtellt waren, wurde bei Q geſchloſſen, und nachdem die Buſſolennadel zur Ruhe gekommen war, gleichzeitig ihre Ablenkung und die Glüherſcheinung des Drahtes beobachtet.

Der Gang der Verſuche wird aus den folgenden Tabellen, welche die Beobachtungsreſultate enthalten, von ſelbſt klar werden.

Die drei erſten Verſuchsreihen wurden mit Platindraht von 0,45^{mm} Durchmeſſer angeſtellt.

1ſte Reihe:

Säule von 40 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbuſſole.	Glüherſcheinung.
1,5 Meter	45°	0
1,3 »	46	ſchwaches Glühen an einigen Stellen.
1,1 »	47	ſchwaches Glühen der ganzen Länge nach.
1,0 »	48	Rothglühen.
0,8 »	50	Hellrothglühen.
0,5 »	56	faſt Weißglühen.

2te Reihe:

Säule von 24 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbuſſole.	Glüherſcheinung.
0,6 Meter	44°	0
0,5 »	45	ſchwaches Glühen an einzelnen Stellen.
0,4 »	46	desgl. ſtärker.
0,3 »	48	Rothglühen der ganzen Länge nach.
0,1 »	51	Hellrothglühen.

3te Reihe:

Säule von 12 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbuſſole.	Glüherſcheinung.
0,3 Meter	46°	ſchwaches Glühen faſt der ganzen Länge nach.
0,3 »	47	ſchwaches Glühen der ganzen Länge nach.
0,2 »	48	Rothglühen.
0,1 »	50	Hellrothglühen.

Zwei Verſuchsreihen mit einem Eiſendraht von 0,42^{mm} Durchmeſſer geben folgende Reſultate:

4te Reihe:

Säule von 24 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge	Ablenkung der Tangentenbuſſole	Glüherſcheinung
1^m	32^0	Stellweiſes Glühen
0,8	33	Noch nicht der ganzen Länge nach
0,6	34	Rothglühen
0,4	35	Hellrothglühen
0,3	—	abgeſchmolzen.

5te Reihe:

Säule von 12 Zinkkohlen-Bechern.

0,5	32	Stellenweiſe
0,4	33	desgl. ſtärker
0,2	35	ſtark Rothglühen
0,1	—	abgeſchmolzen.

Bei den Verſuchen mit Eiſendraht iſt zu bemerken, daß bei jedem einzelnen Verſuch ein neues Stück Eiſendraht eingeſchaltet wurde, weil durch das Glühen die Oberfläche oxydirt, alſo der Draht verändert wird.

Dieſe Verſuche zeigen uns, daß ein und derſelbe Draht dieſelbe Glüherſcheinung bei derſelben Stromſtärke zeigt, welche Länge er auch haben mag.

Für den Platindraht von $0{,}45^{mm}$ Durchmeſſer tritt ein ſtellenweiſes Glühen bei einer Stromſtärke ein, welche der Ablenkung von 45 bis 46^0 entſpricht. Mit 40 Elementen bewirkt man dieſe Wirkung an einem Drahtſtück von 1,3 Metern, mit 24 Bechern an einem 0,5 Meter, und mit 12 Bechern an einem 0,4 Meter langen Drahtſtück.

Das Rothglühen tritt in allen drei Verſuchsreihen bei einer Stromſtärke von 48 Graden auf, während bei der erſten die Drahtlänge 1^m, bei der zweiten $0{,}3^m$ und bei der dritten 0,2 Meter beträgt.

Das Hellrothglühen tritt bei einer Stromſtärke von 50 bis 51^0 auf.

Ganz ähnlich ſind die Reſultate, welche die Verſuche mit dem Eiſendraht geben. Stellenweiſes Glühen findet bei einer Stromſtärke von 32 bis 38^0 ſtatt, ſtarkes Rothglühen bei 35^0.

Dieſe Verſuche zeigen alſo keine ſolche Sonderbarkeit, wie ſie Caſſelmann anführt. Leider hat er keine nähere Angaben gemacht, aus welchen ſich etwa der Grund der von ihm beobachteten Abnormität erklären ließe; ich vermuthe aber, daß ſie in der ſtarken Wärmeableitung durch Metallmaſſe der Drahtklemmen ihren Grund hat, welche bei bedeutend kürzeren Drähten einen ſehr merklichen Einfluß ausübt.

Caſſelmann wandte einen Drahthalter an, welcher dem oben in Fig. 140 abgebildeten ähnlich iſt. Beobachtet man einen in demſelben befeſtigten Draht während er glüht genauer, ſo ſieht man, daß er in unmittelbarer Nähe der Einklemmſtellen weit ſchwächer glüht als in der Mitte; verkürzt man nun den Draht ſo weit, daß der abkühlende Einfluß der Klemmen ſich bis in die Mitte des Drahtes erſtreckt, ſo iſt es wohl erklärlich, wie durch Verkürzung des Drahtes endlich eine Verminderung der Glüherſcheinung eintritt, wie dies auch aus folgender Beobachtung hervorgeht.

Ein Platindraht von 0,21^{mm} Durchmeſſer wurde in den Schließungsbogen eines einfachen Zinkkohlenbechers gebracht. Bei einer Länge von 3 Centimeter wurde er ſchwach glühend, während die Tangentenbuſſole 26^0 zeigte; als aber derſelbe Draht bis auf 1 Centimeter verkürzt wurde, fand bei einer Stromſtärke von 34^0 kein Glühen mehr ſtatt.

Als ſtatt des einen Elementes zwei Bunſen'ſchen Becher angewandt wurden, erhielt man für die beiden Drahtlängen von 3 und 1 Centimeter vollkommen gleiche Glüherſcheinung, obgleich die entſprechende Ablenkung für den erſteren Fall 34, für den letzteren (den kürzeren Draht) 44 Grade betrug.

157 **Beziehungen zwiſchen Dicke und Stromſtärke bei galvaniſch glühenden Metalldrähten.** Die obigen Verſuche geben über das Verhältniß zwiſchen Stromſtärke und Durchmeſſer der Drähte, wie es einem beſtimmten Grade des Glühens entſpricht, noch keine Auskunft, weil nur die Länge, nicht der Durchmeſſer der Drahtſtücke variirt wurde.

Die folgende Tabelle giebt die Reſultate einer Verſuchsreihe, welche mit Platindrähten von 1 Decimeter Länge und veränderlichem Durchmeſſer angeſtellt wurden.

Durchmeſſer D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromſtärke $s = 70.tang.v$	$\frac{s}{D}$
0,3^{mm}	ſchwaches Glühen	34^0	47,18	163,9
»	Rothglühen	36	50,82	169,4
»	Hellrothglühen	38	54,67	182,2
»	ſehr Hellglühen	42	63,00	210,0
0,39^{mm}	ſchwaches Glühen	43^0	65,24	163,7
»	Rothglühen	46	72,45	185,5
»	Hellglühen	48	77,77	199,5
*0,45^{mm}	ſchwaches Glühen	47^0	75,06	166,6
»	Rothglühen	48	77,77	172,2
»	Hellrothglühen	50,3	84,42	187,6
»	faſt Weißglühen	56	103,74	230,3

Durchmeſſer D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromſtärke $s = 70 . tang . v$	$\frac{s}{D}$
0,75mm	Rothglühen	60°	121,24	161,7
"	Hellrothglühen	66	157,22	209,3.

Die mit * bezeichnete Abtheilung iſt den früheren, auf Seite 386 angeführten Verſuchsreihen entnommen.

Dieſe Verſuchsreihe rechtfertigt die Annahme, daß, um denſelben Grad des Glühens hervorzubringen, die Stromſtärke dem Durchmeſſer der Drähte proportional wachſen muß; nach dieſem Geſetze muß für denſelben Grad des Glühens der Quotient der Drahtdicke in die entſprechende Stromſtärke, eine conſtante Größe ſeyn. Dieſer Quotient findet ſich in der letzten Columne der vorigen Tabelle. Es iſt demnach:

Für ſchwaches Glühen:

Beim Durchmeſſer		Abweichung vom Mittel.
0,3	163,9	— 0,8
0,39	163,7	— 1,0
0,45	166,6	+ 1,9

Mittel 164,7.

Für Rothglühen:

0,3	169,4	— 2,8
0,39	185,5	+ 13,3
0,45	172,2	0
0,75	161,7	— 10,5

Mittel 172,2.

Für helles Rothglühen:

0,3	182,2	— 12,4
0,39	199,5	+ 4,9
0,45	187,6	— 7,0
0,75	209,3	+ 14,7

Mittel 194,6.

Sehr helles Rothglühen, faſt Weißglühen:

0,3	210	— 10
0,45	230	+ 10

Mittel 220.

Die Abweichungen vom Mittel ſind ſowohl der Größe, als auch dem Zeichen nach ſo unregelmäßig vertheilt, daß man ſie wohl ohne Anſtand

Beobachtungsfehlern zur Laſt legen kann. Daß dieſe Abweichungen etwas groß ſind, ſie wechſeln bis zu 7 Procent des entſprechenden Quotienten, iſt ſehr begreiflich, wenn man bedenkt, daß die Grade des Glühens nicht gemeſſen, ſondern nur geſchätzt ſind.

Eine, der eben beſprochenen ähnlichen Verſuchsreihe mit Eiſendraht, gab folgende Reſultate:

Durchmeſſer D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromſtärke $s=70.tang.v$	$\frac{s}{D}$
0,2	Schwach	19°	24,08	120,4
»	Roth	20	25,41	127,0
0,255	Schwach	24	31,15	122,1
»	Roth	25	32,62	127,9
0,38	Schwach	34	47,18	124,1
»	Roth	38	55,67	146,1
0,75	Schwach	52	89,6	119,4
»	Roth	56	103,74	131,3

Es iſt demnach der Quotient $\frac{s}{D}$:

Für Schwachglühen:

Beim Durchmeſſer		Abweichung vom Mittel
0,2	120,4	— 1,1
0,255	122,1	+ 0,6
0,38	124,1	+ 2,6
0,75	119,4	— 2,1
	Mittel 121,5.	

Für Rothglühen:

0,2	127,0	— 7,8
0,255	127,9	— 6,9
0,38	146,1	+ 11,3
0,75	138,3	+ 3,5
	Mittel 134,8.	

Dieſe Verſuchsreihe beſtätigt alſo die Reſultate, welche aus den mit Platindraht angeſtellten Verſuchen gezogen worden waren.

Mit Kupferdraht wurden folgende Reſultate erhalten:

Durchmeſſer D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromſtärke $s = 70.tang.v$	$\frac{s}{D}$
0,2	Schwach	48	77,77	388,8
»	Roth	52	89,60	448,0
0,255	Roth	59	116,48	418,3
	Mit Silberdraht:			
0,2	Roth (nach einiger Zeit abgeſchmolzen)	51	86,45	432,2
0,255	Schwach	57	107,80	422,7.

158 **Vergleichung der Geſetze des galvaniſchen Glühens mit den Lenz'ſchen Erwärmungsgeſetzen.** Nach den von Lenz ermittelten Geſetzen wächſt die in einem Metalldrahte frei werdende Wärmemenge im Verhältniß des Quadrats der Stromſtärke und im Verhältniß des Leitungswiderſtandes des Drahtes. — Bei gleicher Länge ändert ſich aber oben der Leitungswiderſtand im umgekehrten Verhältniß des Quadrats des Durchmeſſers.

Wenn alſo unter ſonſt gleichen Umſtänden die Stromſtärke in demſelben Verhältniſſe wächſt wie die Drahtdicke, ſo muß die entwickelte Wärmequantität unverändert bleiben.

Wenn aber in einem dickeren Drahte eben ſo viel Wärme entwickelt wird als in einem dünneren, ſo ſollte man allerdings erwarten, daß der dickere nicht denſelben Grad des Glühens erreichen könne wie der dünnere, weil in dieſem Falle der dickere Draht mehr Wärme an die Umgebung abgiebt; um gleichen Grad des Glühens in einem $n$fach dickeren Drahte zu erhalten, ſollte man alſo wohl einen mehr als $n$mal ſtärkeren Strom anwenden müſſen, während nach den obigen Verſuchen ein $n$facher Strom dazu genügt.

Beſtimmen wir dies Verhältniß etwas näher. Nach den Oben beſprochenen Unterſuchungen von Lenz iſt die Wärmeentwickelung, welche ein galvaniſcher Strom in Metalldrähten hervorbringt, dem Quadrat der Stromſtärke und dem Leitungswiderſtand des Drahtes proportional; wir können demnach

$$W = s^2 l \ldots\ldots 1)$$

ſetzen, wenn wir mit W die Wärmemenge bezeichnen, die in einem Drahte (innerhalb einer gegebenen Zeit) entwickelt wird, deſſen Widerſtand l iſt, wenn die Stromſtärke s hindurchgeht. Es ſey nun W die Wärmemenge, welche in einer gegebenen Zeit in dem Drahte entwickelt werden muß,

wenn er rothglühend werden ſoll. — Wird nun der Draht durch einen gleichlangen, aber $n$mal dickeren Draht deſſelben Metalles erſetzt, ſo wird die Oberfläche dieſes neuen Drahtes $n$mal ſo groß ſein, die $n$fache Oberfläche giebt caeteris paribus $n$mal ſo viel Wärme an die Umgebung ab, es muß alſo $n$mal ſo viel Wärme, alſo $n\,W$, in dem dickeren Draht entwickelt werden, wenn er die gleiche Glüherſcheinung hervorbringen ſoll.

Der Leitungswiderſtand des $n$mal dicken Drahtes iſt aber $\frac{l}{n^2}$. Bezeichnen wir mit s' die Stromſtärke, welche ihn rothglühend macht, ſo haben wir alſo die Gleichung

$$n\,W = s'^2\,\frac{l}{n^2} \ldots\ldots$$

alſo

$$W = s'^2\,\frac{l}{n^3} \ldots\ldots 2)$$

und durch Combination der Gleichungen 1) und 2)

$$s'^2 = n^3\,s^2$$

oder

$$s' = s\,\sqrt{n^3} \ldots\ldots 3)$$

um alſo einen doppelt und dreimal ſo dicken Draht glühend zu machen, hätte man dieſer Betrachtung zufolge einen 2,83 und einen 5,19mal ſtärkeren Strom nöthig, während meinen Beobachtungen zufolge ein 2mal und ein 3mal ſo ſtarker Strom dazu hinreicht; kurz meiner Beobachtung zufolge müßte zwiſchen s' und s anſtatt der Gleichung 3) die Gleichung

$$s' = ns$$

beſtehen. — Die Abweichungen ſind viel zu bedeutend, als daß ich glaube ſie auf Koſten von Beobachtungsfehlern ſetzen zu dürfen.

Wie dieſer Widerſpruch zu löſen ſey, muß ich vor der Hand unentſchieden laſſen; es wäre wohl denkbar, daß bei dickeren Drähten und gleicher Stromſtärke die äußerſte Oberfläche allerdings eine ſoviel niedrigere Temperatur annehme, daß der Wärmeverluſt nicht größer iſt als bei einem dünnen Drahte, daß aber nach Innen die Temperatur ſo raſch wächſt, daß die äußeren kälteren Schichten das Anſehen des Drahtes nicht zu ändern vermögen. — Geringe Differenzen werden durch die mangelhafte Schätzung des Glühens maskirt, es läßt ſich alſo erwarten, daß ſich Abweichungen von dem Oben entwickelten Geſetz in Beziehung auf die Dicke ergeben werden, wenn man den Durchmeſſer mehr variiren läßt, als es im obigen Verſuchen der Fall war. — Ich beabſichtige dieſen Gegenſtand weiter zu verfolgen.

Die Geſetze des galvaniſchen Glühens und die des Glühens der Metalldrähte durch den Entladungsſchlag der Leidner Flaſche, weichen durch-

aus von einander ab; während die Stromſtärke in gleichem, oder doch nahezu in gleichem Verhältniſſe wachſen muß wie der Durchmeſſer, muß beim Entladungsſchlag der Flaſche die Ladung im Verhältniß der 4ten Potenz des Durchmeſſers wachſen, wenn der Grad des Glühens derſelbe bleiben ſoll. Dieſer Unterſchied zeigt ſchon, daß das galvaniſche Glühen weſentlich anderer Natur iſt, als das durch den Entladungsſchlag der Flaſche hervorgebrachte.

Beſtimmung der Volta'ſchen Combination, welche man zum Glühendmachen gegebener Metalldrähte anwenden muß. — Die 159
oben erhaltenen Mittelwerthe des Quotienten $\frac{s}{D}$ geben die Größe der Stromſtärke an, welche nöthig iſt, um einen Draht von 1^{mm} Durchmeſſer in den entſprechenden Glühzuſtand zu verſetzen.

Es iſt alſo nöthig, um einen Platindraht von 1^{mm} Durchmeſſer
ſchwachglühend zu machen, die Stromſtärke . . . 165
rothglühend » » » » . . . 172
faſt Weißglühend » » » . . . 220.
Es bedarf, um einen Eiſendraht von 1^{mm} Durchmeſſer
ſchwachglühend zu machen, der Stromſtärke . . . 121
rothglühend » » » » . . . 135.

Um einen Kupferdraht von 1^{mm} Durchmeſſer rothglühend zu machen, bedarf man der Stromſtärke 433; für Silber iſt dieſer Werth 432.

Dieſe Zahlenwerthe betrachte ich ſelbſt nur als erſte Annäherungen.

Bezeichnet s die Stromſtärke, welche nöthig iſt, um einen Draht von 1^{mm} Durchmeſſer bis zu einem gewiſſen Grade glühend zu machen, ſo iſt $s.d$ die Stromſtärke, welche nöthig iſt, um einen Draht deſſelben Metalls glühend zu machen, welcher den Durchmeſſer d hat.

Iſt einmal die Stromſtärke a bekannt, welche nöthig iſt, um ein Drahtſtück von gegebenem Durchmeſſer auf einen gewiſſen Grad glühend zu machen, und der Leitungswiderſtand r, welchen das Drahtſtück ſammt dem übrigen Schließungsbogen ausübt, ſo iſt es leicht zu berechnen, welche Combination Volta'ſcher Elemente von bekannter Natur man zu dieſem Zwecke anwenden muß.

Es ſei e die elektromotoriſche Kraft, w der weſentliche Widerſtand eines der disponiblen Becher. Man hat ſie ſo zu combiniren, daß ſie eine Säule von n Elementen bilden, von denen jedes aus m nebeneinander ſtehenden Bechern gebildet wird. Es ſind nun die Werthe von n und m zu beſtimmen.

Die Becher müſſen ſo combinirt werden, daß der Widerſtand der Säule

dem Widerſtande des Schließungsbogens gleich iſt, der Geſammtwiderſtand muß alſo $2r$ ſeyn. Wir haben alſo

$$\frac{ne}{2r} = a,$$

und

$$n = \frac{2ra}{e}.$$

Der weſentliche Widerſtand unſerer Säule iſt aber

$$\frac{n}{m} w = r,$$

alſo

$$m = \frac{n}{r} w,$$

und wenn man für n ſeinen Werth ſetzt

$$m = \frac{2wa}{e}.$$

Man will z. B. einen Platindraht von 1,5 M. Länge und 0,5^{mm} Durchmeſſer rothglühend machen, wieviel Bunſen'ſche Becher von der elektromotoriſchen Kraft 800, und dem Widerſtand 10 muß man anwenden, und wie muß man ſie combiniren?

Der Leitungswiderſtand eines Kupferdrahtes von 1^{mm} Durchmeſſer und 1,5 Meter Länge iſt 1,5. Der eines gleichen Platindrahtes iſt $5 . 1{,}5 = 7{,}5$. Der Widerſtand eines halb ſo dicken Drahtes iſt aber 4mal ſo groß, alſo 30. — Dies wäre der Leitungswiderſtand des Drahtes bei gewöhnlicher Temperatur; bei der Rothglühhitze iſt er mindeſtens doppelt ſo groß, alſo 60. Nehmen wir an, der Leitungswiderſtand des übrigen Schließungsbogens könne gegen dieſen vernachläſſigt werden, ſo haben wir $r = 60$; ferner iſt für unſern Fall $a = 172 . 0{,}5 = 86$. Es iſt alſo

$$\frac{n . 800}{120} = 86, \text{ alſo } n = 12{,}9,$$

$$\frac{12{,}9}{m} 10 = 60, \text{ alſo } m = 2{,}1,$$

man wird alſo eine Säule von 13 Doppelelementen anwenden müſſen.

Man erſieht aus dieſem Beiſpiel, daß die Anordnung bei den auf Seite 386 angeführten Verſuchen eben nicht die vortheilhafteſte war.

Wollte man einen Kupferdraht von 1^{mm} Durchmeſſer und 0,5 Meter Länge rothglühend machen, ſo wäre der Widerſtand dieſes Drahtes gleich 1, wenn wir annehmen, daß der Widerſtand des Kupferdrahtes bei der Glühhitze doppelt ſo groß iſt als bei gewöhnlicher Temperatur; wenn der übrige Leitungswiderſtand des Schließungsbogens auch gleich 1 iſt, ſo iſt

der Geſammtwiderſtand im Schließungsbogen = 2, a iſt aber für dieſen Fall 433, folglich

$$n = 2{,}16,\ m = 10{,}8.$$

Man hätte alſo eine Säule von 2 Elementen anzuwenden, von denen jedes aus 11 Bechern beſteht.

Man müßte die Leitungswiderſtände der Metalle für die Glühhitze genauer kennen, wenn dieſe Berechnungen einen größeren Grad von Genauigkeit erreichen ſollten.

Im Allgemeinen wird man mehr Becher hinter einander anwenden müſſen, wenn man längere und ſchlecht leitende, mehr Becher neben einander, wenn man dickere und gut leitende Drähte glühend machen will.

Glühen von Metalldrähten in verſchiedenen Gaſen. Grove 160 hat die merkwürdige Beobachtung gemacht, daß ein in atmoſphäriſcher Luft voltaiſch erglühender Platindraht ſcheinbar erlöſcht, wenn man eine Glocke mit Waſſerſtoff darüber ſtürzt. (Phil. Transact. f. 1847 pt. 1. P. A. LXXI, 196). Da der Leitungswiderſtand eines ſtärker glühenden Drahtes größer iſt als der eines ſchwächer glühenden, ſo war zu erwarten, daß caeteris paribus derſelbe Draht in Waſſerſtoff einen ſtärkeren Strom leiten wird, als in atmoſphäriſcher Luft.

Grove prüfte nun dieſe Conſequenz auf folgende Weiſe; in den Schließungsbogen einer conſtanten Batterie wurde außer einem Platindraht, den man bequem mit einer Atmoſphäre verſchiedener Gaſe umgeben konnte, noch ein Voltameter eingeſchaltet. Je nachdem ſich nun der Platindraht in dem einen oder dem andern Gaſe befand, war die Stärke des Glühens ſehr verſchieden, gleichzeitig änderte ſich aber auch die Stärke der Waſſerzerſetzung im Voltameter in der Weiſe, daß man in gleicher Zeit um ſo mehr Knallgas erhielt, je ſchwächer das Glühen des Drahtes war. Folgendes iſt die Menge von Knallgas, welche das Voltameter in 1 Minute lieferte, wenn der Platindraht in einer Atmoſphäre von nachbenannten Gaſen ſich befand.

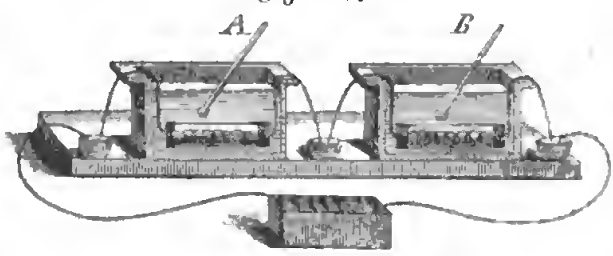
In Waſſerſtoffgas	7,7	Kubikzoll
Oelbildenden Gas	7,0	»
Kohlenoxydgas	6,6	»
Kohlenſäure	6,6	»
Sauerſtoff	6,5	»
Stickgas	6,4	»
Atmoſphäriſcher Luft	6,4	»
desgl. doppelt verdichtet . . .	6,5	»
desgl. verdünnt	6,3	»
Chlorgas	6,1	».

Mit dem Leuchten des Drahtes iſt auch die in demſelben erzeugte Wärme größer, wie folgender Verſuch zeigt: Die Kugel eines Thermometers war in einem beſtimmten Abſtande von einem Drahtgewinde angebracht, welches durch eine Batterie von 4 Zellen ins Glühen verſetzt wurde. Als ſich das Drahtgewinde in atmoſphäriſcher Luft befand, ſtieg das Thermometer in 5 Minuten um 15°, als aber die atmoſphäriſche Luft durch Waſſerſtoffgas erſetzt wurde, betrug das Steigen in gleicher Zeit nur 7,5°.

Poggendorff ſpricht in einer Anmerkung die Meinung aus, daß die Erſcheinung wohl mit der ſchon von Dulong und Petit gemachten Beobachtung zuſammenhängen könne, daß ein erhitzter Körper im Waſſerſtoff ſchneller erkalte als in atmoſphäriſcher Luft. Mir ſcheint dieſe Anſicht unzuläſſig; wenn der Draht in Waſſerſtoffgas die in ihm entwickelte Wärme ſchneller abgiebt, ſo müßte das Thermometer ſtärker ſteigen, wenn ſich das Drahtgewinde in dieſem Gas befindet, vorausgeſetzt, daß gleich viel Wärme durch den Strom im Draht erzeugt wird, gleichgültig in welchem Gas er ſich befindet.

Entſcheidend iſt jedoch dieſer Verſuch noch nicht, unzweideutig aber ſpricht gegen die von Poggendorff angedeutete Erklärung ein Verſuch, den Grove in einem ſpäteren, über denſelben Gegenſtand handelnden Aufſatze beſchreibt. (Phil. Magazine XXXV, 114 P. A. LXXVIII, 366.) Zwei Glasröhren *A* und *B* Fig. 141, von 1,5 Zoll Länge und 0,3 Zoll innerem Durchmeſſer, waren an beiden Enden durch Korke verſchloſſen, in welche Kupferdrähte hineinreichten, deren Enden durch einen ſchraubenförmigen Platindraht von $\frac{1}{80}$ Zoll Durchmeſſer und 3,7 Zoll Länge verbunden waren. Die Röhre *A* war mit Sauerſtoff, *B* mit Waſſerſtoff gefüllt, und beide ſo zubereitete Röhren waren in zwei getrennte, einander in jeder Beziehung ähnliche Gefäße getaucht, die 3 Unzen Waſſer enthielten. In das Waſſer eines jeden Gefäßes wurde ein Thermometer gebracht, und die Kupferdrähte ſo verbunden, daß ſie hintereinander den Schließungsbogen einer conſtanten Zinkplatinbatterie von 8 Zellen, jede von 8 Quadratzoll wirkende Oberfläche bildeten.

Fig. 141.



Als die Kette geſchloſſen wurde, gerieth der von Sauerſtoffgas umgebene Draht ins Weißglühen, während der in Waſſerſtoffgas befindliche nicht ſichtbar glühte. Die Temperatur des Waſſers, die zu Anfange des Ver-

ſuchs in jedem Gefäße 60° F. betrug, ſtieg innerhalb 5 Minuten in dem die Waſſerſtoffröhre umgebenden Waſſer auf 70° F., in dem die Sauerſtoffröhre umgebenden Waſſer auf 81° F.

Als beide Röhren mit gleichen Gaſen gefüllt waren, ſtieg das Thermometer in beiden Gefäßen gleich hoch.

Dieſer Verſuch beweiſt entſchieden, daß das ſchwächere Glühen des Drahtes in Waſſerſtoff bei vollkommen gleicher Stromſtärke nicht etwa darin zu ſuchen iſt, daß das Waſſerſtoffgas dem Drahte ſeine Wärme ſchneller entzieht, ſonſt müßte ja gerade das Waſſer ſich ſchneller erwärmen, welches die Waſſerſtoffröhren umgiebt. Alles deutet darauf hin, daß in dem Drahte, wenn er von Waſſerſtoffgas umgeben iſt, wirklich eine geringere Wärmeproduction ſtattfindet.

Grove hat bewieſen, daß dieſe Erſcheinung nicht etwa von einer ſchwachen Elektricitätsleitung durch das Waſſerſtoffgas herrühre; ebenſo hat er gezeigt, daß ſie mit den ſonſtigen phyſikaliſchen Eigenſchaften der Gaſe, Dichtigkeit, ſpecifiſche Wärme u. ſ. w. nicht in Verbindung zu bringen iſt.

Was die Erklärung dieſer eigenthümlichen Thatſache betrifft, ſo giebt ſich Grove viel vergebliche Mühe, ihr eine für das Verſtändniß zugängliche Seite abzugewinnen, und unbegreiflicher Weiſe kommt er ſelbſt im Verlaufe ſeiner etwas breiten und dunklen Betrachtungen zu der Vermuthung, als ob die Verſchiedenheit der Gaſe wohl ähnlich wirken könne wie eine Verſchiedenheit in der Oberflächenbeſchaffenheit. Es würde dies im Weſentlichen mit der oben beſprochenen Pogendorff'ſchen Anſicht zuſammenfallen. Als Poggendorff dieſe Anſicht ausſprach, war der Verſuch mit den zwei Glasröhren Fig. 141, welcher am entſchiedenſten gegen eine ſolche Annahme ſpricht, noch nicht bekannt; Grove aber ſpricht ſich für dieſelbe aus, nachdem er kaum ſelbſt den Verſuch angeſtellt und beſchrieben hat, welcher die Unzuläſſigkeit dieſer Erklärungsbaſis darthut, welcher beweiſt, daß ſich die Erſcheinung nicht auf Differenzen in den Wärmeleitungs- und Strahlungsverhältniſſe zurückführen läßt.

Nach meinem Dafürhalten ſteht die Erſcheinung noch ganz iſolirt, und völlig unerklärt da. — Ich halte es nicht für förderlich in ſolchen Fällen, unſere Unwiſſenheit durch gedehnte Betrachtungen zu verſchleiern, in denen der phyſikaliſche Sündenbock unſerer Tage, die Molecularwirkung, eine Hauptrolle ſpielen muß.

Einwirkung glühender Platindrähte auf verſchiedene Gaſe. 161
Es iſt eine bekannte Thatſache, daß mehrere zuſammengeſetzte Gasarten in glühenden Röhren eine Zerſetzung erleiden. Aehnliche Wirkungen hat nun Grove durch die Einwirkung glühender Platindrähte auf ſolche Gaſe hervorgebracht. (Phil. Trans. f. 1847 pt. 1; P. A. LXXI, 194.) Folgende ſind die Apparate, deren er ſich zu dieſem Zwecke bediente.

In das obere Ende einer Eudiometerröhre, Fig. 142, war ein Büge von Platindraht eingeſchmolzen, von deſſen beiden Enden Kupferdrähte zu den beiden Queckſilbernäpfchen führten, welche die Poldrähte der Batterie aufnahmen. — Das zu unterſuchende Gas war durch Waſſer geſperrt, und um eine zu ſtarke Erhitzung des Glaſes zu vermeiden, war die ganze Eudiometerröhre in ein weiteres, mit Waſſer gefülltes Gefäß getaucht. Das Waſſer wurde zuweilen mit einer zolldicken Oelſchicht übergoſſen.

Fig. 142.

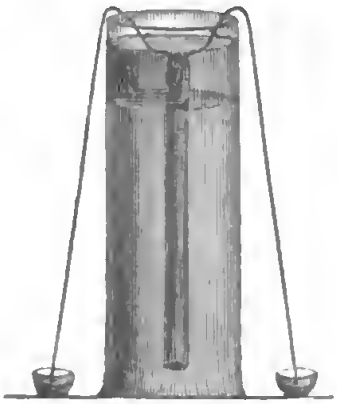


Fig. 143.

Wenn die Gaſe durch Queckſilber abgeſperrt ſeyn mußten, oder wenn ein längeres Glühen nöthig war, ſo wurde der Apparat Fig. 143 angewandt. Die Eudiometerröhre iſt hier gebogen, das verſchloſſene Ende derſelben, welches den Platindraht enthält, iſt nach Unten gekehrt in ein mit Waſſer oder Oel gefülltes Gefäß getaucht, das offene Ende aber mündet in ein Gefäß mit Waſſer oder Queckſilber, welches die Sperrflüſſigkeit bildet. Mit dieſen Apparaten wurden nun folgende Reſultate erhalten.

Stickſtoffoxyd zog ſich über deſtillirtem Waſſer im Verhältniß zur Hitze verſchieden ſtark zuſammen. (Es verſteht ſich, daß die Meſſung des Volumens erſt nach vollſtändiger Erkaltung vorgenommen wurde.) Bei den beſten Verſuchen betrug die Zuſammenziehung $\frac{1}{3}$ des urſprünglichen Volumens. Das rückſtändige Gas war Stickſtoff, im Waſſer fand ſich Salpeterſäure aufgelöſt.

Stickſtoffoxydul wurde in Stickſtoff und Sauerſtoff zerlegt; das Volumen vergrößerte ſich um 0,35 des anfänglichen. Die volle Vergrößerung um 0,5 konnte nicht erreicht werden.

Kohlenſäure erlitt keine wahrnehmbare Veränderung.

Ammoniak vergrößerte ſich zum doppelten ſeines urſprünglichen Volumens; das Gas war nun nicht mehr von Waſſer verſchluckbar, und beſtand aus 3 Vol. Waſſerſtoff und 1 Vol. Stickſtoff.

Oelbildendes Gas zog ſich etwas zuſammen und ſetzte Kohle ab.

Der Rückſtand war Waſſerſtoff und ölbildendes Gas; je größer die Hitze, deſto mehr Waſſerſtoff wurde gebildet.

Stickgas blieb unverändert.

Sauerſtoff erlitt eine ſchwache Zuſammenziehung, etwa $^1/_{50}$ ſeines Volumens betragend, was wohl einem geringen Gehalt an Waſſerſtoff zuzuſchreiben iſt.

Chlor gab über Waſſer weiße Dämpfe, und an der Wandung der Röhre, nahe beim Platindraht, ſammelte ſich ein graugelbes unlösliches Pulver, welches einer ſpäteren Unterſuchung zufolge Platinchlorür iſt. Der größere Theil des Chlors verbindet ſich mit dem Waſſerſtoff des Waſſerdampfes und die gebildete Chlorwaſſerſtoffſäure wird vom Waſſer abſorbirt. Am Ende des Verſuches iſt das Gasvolumen faſt auf die Hälfte zurückgeführt und der Rückſtand iſt Sauerſtoff.

Aus Brom und Chlorjod entwickelt ſich Sauerſtoff (wie die Verſuche mit dieſen Körpern angeſtellt wurden, iſt mir nicht recht klar geworden). Der Rückſtand konnte nicht unterſucht werden, da er ſowohl Platin als Glas angriff.

Waſſerſtoffgas ergab eine ſehr bedeutende Zuſammenziehung, die in einigen Fällen bis auf $^1/_{10}$ des urſprünglichen Volumens ſtieg. Die Urſache dieſer Zuſammenziehung iſt eine kleine Menge Sauerſtoff, welche dem Waſſerſtoffgas faſt immer noch beigemiſcht iſt. Phosphor in möglichſt ſorgfältig dargeſtelltes Waſſerſtoffgas gebracht, giebt Dämpfe von phosphoriger Säure, leuchtet im Dunkeln und giebt eine ſchwache Zuſammenziehung. Aber dennoch findet hernach bei Anwendung des glühenden Drahtes eine fernere Zuſammenziehung ſtatt. Der Phosphor kann alſo noch nicht allen Sauerſtoff aus dem Waſſerſtoffgas entfernen.

Nach dieſer Erfahrung zweifelt Grove an der Richtigkeit der bisher ermittelten Werthe für das Atomgewicht des Waſſerſtoffs.

Nach dieſen Verſuchen dürfte es wohl ſehr zweckmäßig ſeyn, bei eudiometriſchen Verſuchen anſtatt des elektriſchen Funkens den galvaniſch-glühenden Platindraht anzuwenden.

Waſſerſtoff und Kohlenſäure zu gleichen Volumen gemengt, wurden durch den glühenden Draht leicht afficirt. Sie zogen ſich zu 0,48 ihres anfänglichen Volumes zuſammen. Der Rückſtand war Kohlenoxydgas. Es hatte ſich demnach 1 Aequivalent Sauerſtoff mit 1 Aequivalent Waſſerſtoff vereinigt.

Kohlenoxydgas zeigte eine merkwürdige Erſcheinung. Rein und ſorgfältig von Kohlenſäure befreit, wurde es über deſtillirtem Waſſer dem glühenden Drahte ausgeſetzt, wobei ſich das Volumen um $^1/_5$ bis $^1/_3$, je nach der Intenſität des Glühens, vermehrte.

Wenn das Gas trocken und durch Queckſilber abgeſperrt war, ſo trat dieſe Vergrößerung des Volumens nicht ein.

Demnach müßte die Erſcheinung von Waſſerdampf herrühren, und in der That ſtellte ſich heraus, daß die Raumvergrößerung durch die Bildung von Kohlenſäure veranlaßt war. — Durch Schütteln mit Aetzkali oder Kalkwaſſer wurde das Gas genau auf ſein urſprüngliches Volum zurückgeführt; allein es zeigte ſich jetzt gemengt mit einem Volum Waſſerſtoff, welches gleich war dem Volum der verſchluckten Kohlenſäure. — Dies erklärt ſich ſo: Es verbindet ſich ein Volum a des vorhandenen Kohlenoxydgaſes mit einem Volum $\frac{a}{2}$ Sauerſtoffgas, welches durch Zerlegung von Waſſerdampf gebildet wurde, und ſo entſteht durch dieſe Verbindung ein Volumen a von Kohlenſäure. — Wenn aber $\frac{a}{2}$ Volumtheile Sauerſtoffgas aus dem Waſſerdampf ausſcheiden, ſo müſſen ſich gleichzeitig a Volumentheile Waſſerſtoffgas gebildet und das Geſammtvolumen des Gasgemenges um a zugenommen haben. — Das Volumen der gebildeten Kohlenſäure (welche durch Aetzkali oder Kalkwaſſer entfernt werden kann) muß gleich ſeyn dem Volum des gebildeten Waſſerſtoffgaſes, wie es der Verſuch auch zeigt.

Vergleicht man dieſen Verſuch mit dem vorigen, ſo muß allerdings die ſonderbare Umkehrung der Verwandtſchaft unter ſo ähnlichen Umſtänden überraſchen: in dem einen Falle war es Waſſerſtoff, welcher der Kohlenſäure Sauerſtoff entzog, um Waſſer zu bilden und Kohlenoxydgas zurückzulaſſen, während im anderen Falle das Kohlenoxydgas dem Waſſerdampf ſeinen Sauerſtoff entzog, um Kohlenſäure zu bilden und Waſſerſtoff zurückzulaſſen.

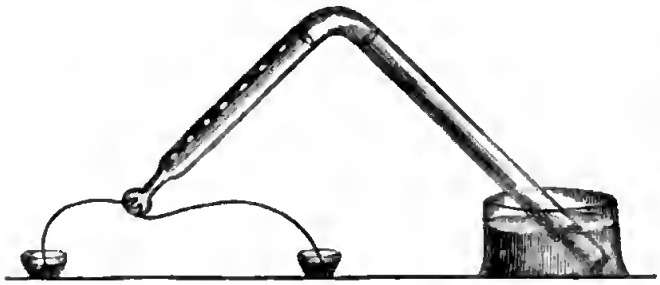
Bis jetzt iſt es noch nicht gelungen, eine nähere Einſicht in dieſe Vorgänge zu erlangen. — Der letzte Verſuch, bei welchem alſo eine Zerlegung von Waſſerdampf ſtattfand, führte Grove zu der Idee, ob es nicht möglich ſey, durch den glühenden Platindraht auch Waſſerdampf zu zerlegen und Knallgas zu bilden, was ihm auch in der That gelang, wie wir in dem folgenden Paragraphen ſehen werden.

162 **Zerlegung des Waſſerdampfes durch den glühenden Platindraht.** Die Zerlegung des Waſſerdampfes in ſeine Beſtandtheile beſpricht Grove in demſelben Aufſatz, welcher über die Einwirkung des glühenden Drahtes auf verſchiedene Gaſe beſpricht. Nach vielen vergeblichen Verſuchen gelang dieſe Zerſetzung durch folgenden Apparat.

Das gebogene an einem Ende offene Glasrohr, Fig. 144 a. folg. S., war an ſeinem andern Ende durch einen engen Hals mit einer Kugel

verbunden, durch welche der Platindraht ſo hindurchgeht, wie die Figur zeigt. — Die ganze Röhre wurde mit luftfreiem Waſſer gefüllt und das offene Ende in ein Gefäß mit Waſſer getaucht. Bei Anwendung einer aus zwei conſtanten Zinkplatinzellen gebildeten Säule wurde zuerſt die Luft in der Kugel ausgedehnt und ausgetrieben, ſo daß nun Waſſer in dieſelbe eintreten konnte, welches bald ins Sieden kam. In einem gewiſſen Zeitpunkt wurde der Draht glühend im Dampf. In dieſem Augenblicke trat eine zitternde Bewegung ein und getrennte nadelknopfgroße Blaſen ſtiegen auf und ſammelten ſich in der Biegung der Röhre. Es war keine ſtetige Gasentwickelung wie bei der Elektrolyſe, ſondern es ſchien eine Reihe raſcher Stöße zu ſeyn; das Waſſer, durch den engen Hals zurückkehrend, bildete eine natürliche Klappe, welche Portionen der Atmoſphäre, welche den Draht umgab, durch intermittirende Wirkung abſchnitt.

Fig. 144.



Das oben geſammelte Gas war Knallgas.

Daß dieſe Knallgasbildung nicht etwa einer Elektrolyſe zugeſchrieben werden könne, hat Grove genügend dargethan; ich hebe unter ſeinen Beweiſen die wichtigſten hervor.

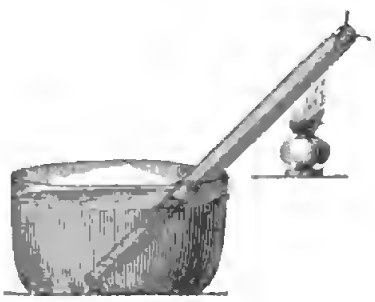
1) In deſtillirtem Waſſer bringt eine Säule von 2 Bechern ſelbſt unter den günſtigſten Bedingungen nur eine kaum merkliche Elektrolyſe hervor.

2) Die Zerſetzung begann erſt, als der Draht glühend wurde.

3) Als der Draht durchſchnitten wurde, fand keine Gasbildung mehr ſtatt.

Grove ging nun zunächſt darauf aus, die Zerſetzung des Waſſerdampfes in einer ſolchen Form zu bewerkſtelligen, daß der glühende Platindraht nur mit Waſſerdampf in Berührung ſeyn konnte. Eine Glasröhre, welche wie die Fig. 145 an ihrem verſchloſſenen Ende einen eingeſchmolzenen Bügel von Platindraht enthält, wurde mit Waſſer gefüllt, welches durch längeres Sieden und Auspumpen möglichſt vollſtändig von Luft befreit worden war, und dann in ein mit gleichem Waſſer gefülltes Gefäß umgekehrt. Eine an das obere verſchloſſene Ende der Röhre

Fig. 145.

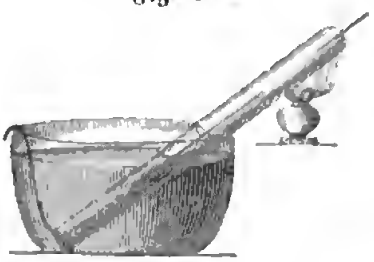


gebrachte Weingeiſtlampe bewirkte, daß ſich daſelbſt Waſſerdämpfe bildeten und der Platindraht nur von Waſſerdampf umgeben war Der Draht wurde nun ins Glühen gebracht. Nach Unterbrechung des Stromes und Entfernung der Lampe ſtieg das Waſſer allmälig wieder, in der Röhre blieb aber eine Blaſe von dem Volumen eines großen Senfkornes zurück, welches, als es an der Waſſerfläche der Wanne einem brennenden Zündhölzchen genähert wurde, verpuffte. Der Verſuch wurde unter längerem Erglühen des Drahtes wiederholt, allein das Gas ließ ſich nicht über eine ſehr beſchränkte Menge vermehren.

Der Verſuch wurde wie eben wiederholt und die Gasblaſe in eine andere Röhre übergeführt; dann der Draht wiederum im Dampfe zum Glühen gebracht, die ſo gebildete Blaſe abermals entfernt und ſo fort, bis nach etwa 10ſtündiger Arbeit eine zur Analyſe hinreichende Menge Gas vorhanden war. Dies Gas wurde nun in ein Eudiometer gebracht und verpufft; es hinterließ 0,35 ſeines urſprünglichen Volumens und dieſer Rückſtand war Stickgas. Der Verſuch wurde nochmals mit demſelben Erfolge wiederholt; zuweilen enthielt der Rückſtand auch noch etwas Sauerſtoff.

Hier iſt die Elektrolyſe völlig ausgeſchloſſen, der Draht glüht gewiſſermaßen im trockenen Dampfe.

Fig. 146



Als in dem Apparate, Fig. 146, die Funken einer großen Hydroelektriſirmaſchine zwiſchen Platinſpitzen durch den Waſſerdampf hindurchſchlugen, wurde ebenfalls eine kleine Blaſe von Knallgas gebildet.

Wie bei den vorherigen Verſuchen vergrößerte ſich durch die Arbeit eines ganzen Tages die Blaſe nicht, wurde ſie aber fortgeſchafft, ſo bildete ſich ſogleich eine neue. Das Gas, auf ähnliche Weiſe geſammelt, ließ ſich verpuffen und gab einen Rückſtand von 0,4 ſeines urſprünglichen Volumens, beſtehend aus Stickſtoff mit einer Spur Sauerſtoff.

Durch eine natürlich nur annähernd richtige Schätzung der Dampf- und Gasvolumina ergab ſich, daß das gebildete Knallgas ungefähr $^1/_{2400}$ des Dampfvolums betrug.

Grove vermuthete, daß dieſe Knallgasbildung keineswegs eine ſpecifiſche Wirkung der Elektricität ſey, ſondern daß ſie lediglich durch die Hitze hervorgebracht werde, und in der That gelang es ihm auch, durch Hitze allein ohne Elektricität Waſſerdampf zu zerſetzen.

Mit Uebergehung der weniger gerathenen Verſuche wollen wir uns

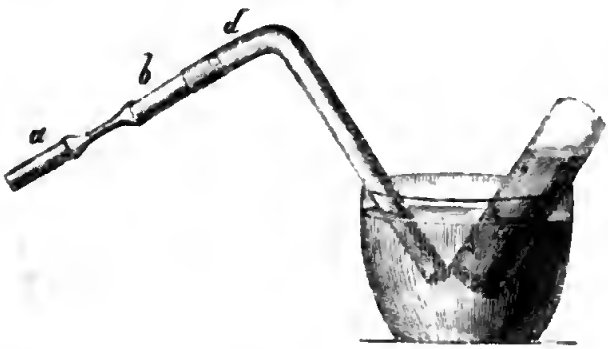
gleich zu denen wenden, welche ganz entſcheidende Reſultate gaben. Mit einer Batterie von 30 conſtanten Zinkplatin-Bechern wurde das Ende eines dicken Platindrahtes zu einer pfefferkorngroßen Kugel geſchmolzen; dann wurde zwiſchen dieſer und der Kohle, welche den negativen Pol bildete, der Flammenbogen hervorgebracht, bis die Kugel wiederum ihrem Schmelzpunkte nahe war. — Nun wurde die glühende Kugel raſch in luftfreies Waſſer getaucht, welches durch eine Weingeiſtlampe kochend gehalten wurde und in dem eine mit demſelben Waſſer gefüllte Röhre umgekehrt ſtand. — Es ſtiegen vereinzelte Gasblaſen in die Röhre. — Derſelbe Proceß wurde wiederholt, bis eine genügende Menge Gas geſammelt war, welches verpuffte, einmal 0,4 ein anderesmal nur 0,25 des urſprünglichen Volumens als Rückſtand ließ, welcher wie gewöhnlich Stickgas mit einer Spur Sauerſtoffgas war.

Die galvaniſche Batterie diente hier offenbar nur, um die Platinkugel glühend zu machen. Vor dem Knallgasgebläſe geſchmolzen und glühend gemacht, brachte ſie dieſelbe Wirkung hervor. Es wurde auf dieſe Weiſe mehr als ein Kubikzoll Knallgas dargeſtellt.

Offenbar umgiebt ſich die glühende Kugel, in Waſſer eingetaucht, ſogleich mit einer Dampfſchicht, aus welcher ſich dann die kleine Portion Knallgas abſcheidet.

Um eine continuirliche Entwickelung der gemengten Gaſe aus einem bloß der Hitze unterworfenen Waſſer hervorzubringen, conſtruirte Grove den Apparat, Fig. 147, *a* und *b* ſind zwei ſilberne Röhren, 4 Zoll lang und 0,3 Zoll im Durchmeſſer, verbunden durch zwei Platinkappen mit einer Platinröhre, die aus einem der Länge nach durchbohrten Platindraht von 0,125 Zoll Dicke gebildet iſt, und im Lichten nur den Durchmeſſer einer ſtarken Stecknadel hat. *a* iſt am Ende verſchloſſen, *b* durch einen umwickelten Streifen Blaſe mit der gebogenen Glasröhre *d* verbunden. Das Ganze wird mit luftfreiem Waſſer gefüllt, und nachdem die Luft aus *a* durch Hitze ausgetrieben, wurde das Ende der Glasröhre in eine Schale mit ſiedendem Waſſer geſteckt. Nun wird mittelſt einer Weingeiſtlampe erſt *b*, dann *a* erwärmt, bis das Waſſer kocht; ſobald das Sieden eingetreten iſt, läßt man die Flamme eines Knallgasgebläſes auf den mittleren Theil der Platin-

Fig. 147.



röhre ſpielen, und wenn dieſer den höchſten Grad des Glühens erreicht hat, bildet ſich Gas, welches, gemengt mit Dampf, bald den ganzen Apparat erfüllt und zum offenen Ende entweicht, entweder in die freie Luft oder in das Auffangglas.

Das ſo geſammelte Gas ließ bei der Verpuffung 0,3 ſeines Volumens Rückſtand, welcher aus Stickgas und einer Spur von Sauerſtoff beſtand.

Daß in allen dieſen Fällen Stickgas als Rückſtand blieb, rührt daher, daß es bekanntlich höchſt ſchwierig, ja faſt unmöglich iſt, das Waſſer abſolut von Luft zu befreien.

Dieſe Erſcheinungsreihe iſt höchſt merkwürdig. Während das Knallgas unter dem Einfluß der Hitze ſich zu Waſſerdampf verdichtet, haben wir hier, freilich nur bis zu einer ſehr begränzten Menge, gerade die umgekehrte Wirkung. Die Ermittelung der näheren Bedingungen und Beziehungen dieſer Zerlegung des Waſſerdampfes, welche etwa zu einer Erklärung des Phänomens führen könnte, müſſen wir noch von der Zukunft erwarten.

Wenn Grove ſagt: »daß dieſe Verſuche hoffen laſſen, in nicht ferner Zeit Knallgas zur Beleuchtung u. ſ. w. einfach dadurch zu bereiten, daß man ſiedendes Waſſer durch ſtark erhitzte Platinröhren leitet, oder mittelſt anderer Methoden«, ſo kann ich doch nicht umhin, mein Bedenken auszuſprechen, ob, falls die Darſtellung im großen Maaßſtabe wirklich gelingen ſollte, das ſo erhaltene Knallgas mehr Licht und Wärme geben kann, als das zu ſeiner Darſtellung verbrauchte Brennmaterial.

163 **Anwendung des galvaniſchen Glühens zum Sprengen der Felſen.** Es iſt ſchon längſt bekannt, daß das Schießpulver durch den elektriſchen Funken entzündet werden kann, wie es ſchon von Franklin ausgeführt wurde und noch jetzt einen gewöhnlichen Collegienverſuch bildet. Wenn nun aber auch das Felſenſprengen mittelſt Reibungselektricität möglich iſt, ſo ſtellen ſich doch dieſem Verfahren viel zu große Schwierigkeiten entgegen, als daß man die Verbreitung derſelben in der Praxis erwarten könnte. — Hare brachte zuerſt das Glühen der Metalldrähte durch den galvaniſchen Strom in Anwendung, um Felſen zu ſprengen; ſein Apparat war aber zu umſtändlich und ungeeignet zum alltäglichen Gebrauch für nicht wiſſenſchaftlich gebildete Arbeiter, weshalb ſein Verfahren keine große Verbreitung fand. In Folge der vielen Unglücksfälle, welche beim Sprengen in Bergwerken und Steinbrüchen vorkommen, widmete der Engländer Roberts dem Gegenſtande ſeine Aufmerkſamkeit. Nach vielen Bemühungen gelang es ihm, die Anwendung des galvaniſchen Stromes zum Felſenſprengen ſo einfach zu machen, daß ſein Verfahren allgemeine Anerkennung und Empfehlung verdient. Es iſt zuerſt im Mechanics Magazine, Mai 1842, S. 353 beſchrieben (Dingler's po-

lytechniſches Journal, LXXXV. 275). In dieſem Bericht können wir uns ziemlich kurz faſſen, weil gar vieles von dem Inhalte jenes Aufſatzes als bekannt vorausgeſetzt werden muß.

Um nicht erſt für jede Exploſion den feinen zwiſchen den Leitungsdräh-ten ausgeſpannten Eiſendraht vorrichten zu müſſen, erdachte Roberts Patronen, von denen man ſtets eine Anzahl vorräthig halten kann. Die Anfertigung der Patronen geſchieht auf folgende Weiſe. — Zwei Kupferdrähte, jeder von 10 Fuß Länge, gegen 1 Linie dick und gut mit wohlgewichstem Baumwollen- oder Wollengarn überſponnen, werden dicht neben einander gelegt; an dem einen Ende werden dann die beiden Drähte auf eine Länge von 6 Zoll hin zuſammengedreht, wie es Fig. 148 andeu-

Fig. 148.

tet, bis auf zwei Hörner von etwas über ½ Zoll Länge, die am freien Ende gegen ½ Zoll von einander abſtehen. Die freien Enden dieſer Hörner werden nun von ihrer Bedeckung befreit und mit der Feile geputzt, und zwiſchen ihnen der feine Eiſendraht ausgeſpannt. Seine Enden kann man auf die Enden der Hörner aufwickeln und mit Zinn feſtlöthen.

Der eiſerne Entzündungsdraht wird natürlich bei jeder Exploſion vernichtet; damit dies aber nicht auch mit den ku-pfernen Leitungsdrähten der Fall ſey, werden die beiden Drähte zuſammen dick mit Faden, wie es am oberen Ende der Figur angedeutet iſt, und dann noch einmal mit fei-nem Binddraht umwickelt.

Der Körper der Patrone iſt eine Zinnröhre von 3 Zoll Länge und ¾ bis 1 Zoll Weite, welche zuſammengelöthet und vollkommen waſſerdicht iſt. (Man könnte wohl auch eine Glasröhre nehmen.) Der feine Eiſen- oder Stahldraht be-findet ſich ungefähr in der Mitte des Cylinders. Er wird dadurch an ſeiner Stelle erhalten, daß die gedrehten Drähte durch einen Kork hindurchgehen, welcher an dem einen Ende der Röhre eingeſteckt iſt. Das beſte Verfahren, die zuſam-mengedrehten Drähte hier gehörig feſtzuhalten, beſteht darin, den Korkſtopfen ſeiner Länge nach zu ſpalten, und ihn, nach-dem die Drähte zwiſchen die beiden Stücke gelegt worden, in die Röhre zu zwängen. Da die zuſammengedrehten Drähte doch etwas dick ſind, ſo wird es doch gut ſeyn, vorher eine kleine Rinne in die Korkſtücke einzuſchneiden. — Iſt der Kork ſo einge-ſteckt, daß die Hörner die Wand nirgends berühren, ſo wird er mit gutem Kitt überzogen. Robert's empfiehlt dazu einen Kitt, beſtehend aus 1 Theil Bienenwachs und 2 Theilen Harz.

Nun wird von dem offenen Ende her die Röhre mit trockenem Jagd-

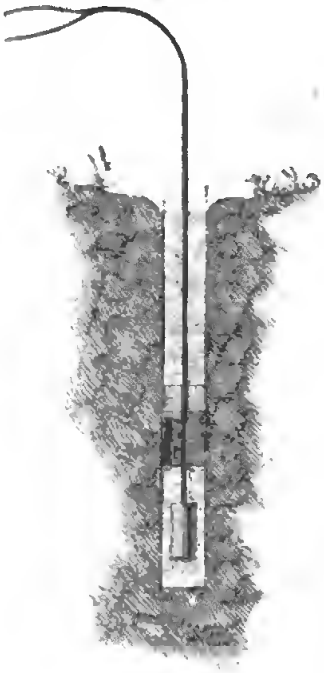
pulver gefüllt, und dann auch hier ein Kork eingeſetzt, der wie der andere wohl verpicht werden muß.

Fig. 149 zeigt die ganze Patrone.

Wie die Patrone in das Bohrloch eingeſetzt wird, zeigt Fig. 150. Nachdem es gehörig von Staub und Feuchtigkeit gereinigt worden iſt, ſchüttet

Fig. 149.

Fig. 150.



man die Hälfte der beabſichtigten Pulverladung in das Loch, legt die Patrone darauf und ſchüttet den übrigen Theil der Ladung darüber. Die Patrone befindet ſich alſo in der Mitte der Ladung, und ihre langen zuſammengewickelten Drähte ſtehen noch mehrere Fuß über den Felſen hervor. Das Pulver wird nicht eingeſtampft.

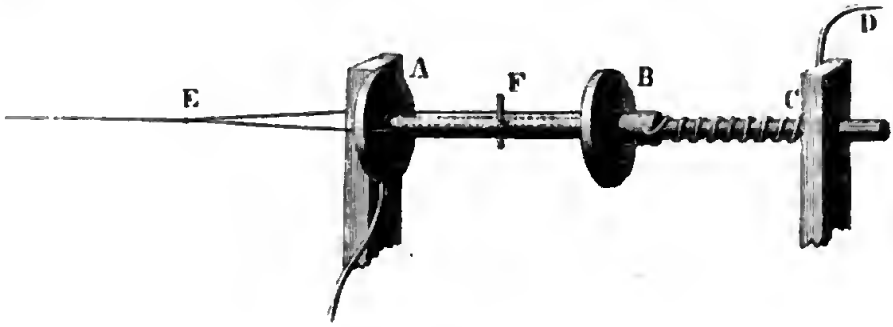
Nun wird ein Pfropf von Stroh oder Werg ſanft in das Loch hinuntergeſchoben, ſo daß ein lufterfüllter Raum, deſſen Größe natürlich von den Umſtänden abhängt, zwiſchen ihm und dem Pulver bleibt. Auf den Pfropf wird trockner Sand geſchüttet, bis das Loch voll iſt.

Die beiden gabelförmig auseinander ſtehenden Enden der Patronendrähte müſſen nun durch Zuleitungsdrähte mit der 60 bis 90 Fuß entfernten Batterie verbunden werden. Dieſe Zuleitungsdrähte ſind gleichfalls überſponnene Kupferdrähte von ungefähr 1 Linie Durchmeſſer; ſie ſind gleichfalls nebeneinandergelegt und dann gemeinſchaftlich mit Faden umwickelt; nur ſtehen ihre freien Enden auf beiden Seiten gabelförmig auseinander, um auf der einen Seite mit den Patronendrähten, auf der andern mit den Polen der Kette verbunden zu werden.

Die Perſon, welche die Schließung der Batterie, alſo die Entzündung der Mine zu beſorgen hat, muß unter Umſtänden noch weiter von dem Bohrloche entfernt ſeyn, als die Batterie, man muß alſo eine Vorrichtung haben, um die Schließung der Kette aus der Ferne mittelſt einer Schnur beſorgen zu können.

Roberts hat zu dieſem Zweck folgende Vorrichtung erſonnen. An zwei gegenüberſtehenden Enden des Kaſtens, welcher die Batterie enthält, ſtehen hölzerne Pfeiler in die Höhe, welche oben durch einen cylindriſchen Holzſtab von 1 Zoll Durchmeſſer verbunden ſind. An dem einen Ende deſſelben iſt die Zinnſcheibe *A*, Fig. 151, von 3 bis 4 Zoll Durchmeſſer

Fig. 151.



unverrückbar befeſtigt und an ihr ein Draht angelöthet, der zu dem einen, etwa dem poſitiven Pole der Batterie führt. Eine zweite Zinnſcheibe *B*, welche der ſicheren Führung wegen auf der von *A* abgewandten Seite mit einer Zinnröhre verſehen iſt, die ſich mit der Scheibe auf dem Stabe leicht hin- und herſchieben läßt, wird durch einen federnden, ſpiralförmig um den Holzſtab herumgehenden, bei *C* befeſtigten Metalldraht von *A* entfernt gehalten. Das freie Ende *D* dieſes Spiraldrahtes wird an dem einen Zuleitungsdraht befeſtigt, während der andere mit dem negativen Pole der Säule verbunden iſt. So iſt alſo die Scheibe *B* durch eine lange Drahtleitung, in welcher auch der feine Eiſendraht ſich befindet, mit dem negativen Pole der Säule in Verbindung, *B* iſt gewiſſermaßen der negative Pol der Kette, *A* aber der poſitive. Der Strom circulirt und macht den Eiſendraht glühend, ſobald *A* und *B* in Berührung kommen.

Um aus der Ferne die Platte *B* gegen *A* hinziehen zu können, ſind in *B* zwei Löcher angebracht, durch welche eine Schnur hindurchgeht, deren Enden durch zwei entſprechende Löcher der Scheibe *A* gezogen, bei *E* miteinander verbunden ſind. Von *E* geht dann eine längere Schnur zu dem Orte, an welchem die Perſon ſteht, die das Schließen der Kette zu beſorgen hat.

Damit nicht etwa durch ein zu frühzeitiges zufälliges Ziehen an der

Schnur die Kette geſchloſſen werden kann, iſt ein Holzſtäbchen *F* zwiſchen *A* und *B* eingeſteckt. Erſt wenn dieſes ausgezogen iſt, kann durch Ziehen an der Schnur die Exploſion der Mine bewirkt werden.

Außer der Verminderung der Gefahr hat dieſe Methode der Felſenſprengung noch andere bedeutende Vorzüge; ſie erlaubt ohne große Schwierigkeiten eine Entzündung des Pulvers unter Waſſer vorzunehmen. Zu dieſem Zweck befindet ſich die ganze, zur Sprengung anzuwendende Pulvermaſſe, in waſſerdicht verſchloſſenen Blechbüchſen, die nur an den gehörigen Ort zu bringen ſind, um ihre Wirkung zu thun.

Ebenſo bringt die Anwendung des galvaniſchen Glühens ſehr große Vortheile, wenn große Maſſen wegzuſprengen ſind. Nach der früheren Methode mußte man in ſolchen Fällen eine große Mine anlegen, während eine Reihe kleinerer, zweckmäßig vertheilter Bohrlöcher eine ungleich größere Wirkung hervorbringen würden, wenn man ihre Ladung genau gleichzeitig anzünden könnte. Mit Hülfe des galvaniſchen Stromes iſt dies aber möglich. Man braucht die Verbindungsdrähte nur ſo zu legen, daß alle Bohrlöcher zugleich in den Schließungsbogen der Batterie kommen; man hat in England auf dieſe Weiſe großartige Effecte erreicht.

Wie ſtark man die Batterie in jedem Falle wählen müſſe, kann man nach früheren Mittheilungen leicht ermeſſen. — Aus §. 159 kann man entnehmen, wie groß die Stromſtärke ſein muß, um den dünnen Eiſendraht weißglühend zu machen (natürlich muß man ſeine Dicke ermittelt haben), und wenn man den Widerſtand der Drahtleitung berechnet hat, kann man leicht beſtimmen, wie viel Volta'ſche Becher oder Plattenpaare der einen oder der andern Einrichtung man anwenden muß, um dieſe Stromſtärke zu erhalten.

164 **Der Volta'ſche Lichtbogen.** Durch die Conſtruction der conſtanten Kette, iſt die Erzeugung des von Davy zuerſt beobachteten Lichtbogens zwiſchen Kohlenſpitzen ungemein erleichtert, und dieſes intereſſante Phänomen auch mannichfach unterſucht worden, obgleich hierin noch ſehr viel zu thun übrig bleibt.

De la Rive hat ſich mehrfach mit dem galvaniſchen Flammenbogen beſchäftigt; einen größeren Aufſatz über dieſen Gegenſtand hat er in der Phil. Trans. f. 1847 pt. publicirt (P. A. LXXVI, 170), aus dem zunächſt Folgendes hervorzuheben iſt:

Der galvaniſche Lichtbogen läßt ſich nicht nur zwiſchen Kohlenſpitzen, ſondern auch zwiſchen verſchiedenen Metallſpitzen erzeugen. Bei leicht ſchmelzbaren oder bei leicht oxydirbaren Metallen, wie Zink oder Eiſen, iſt er größer als beim Platin oder Silber. Die Größe des Lichtbogens ſteht in Beziehung zur größeren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher

die Subſtanz der Elektroden ſich zu zertheilen fähig iſt; denn da der Lichtbogen durch Ueberführung fein vertheilter Subſtanz von einer Elektrode zur andern erzeugt und erhalten wird, ſo muß ſeine Bildung nothwendig durch eine geringere Cohäſion der Elektroden begünſtigt werden; deshalb kann man auch zwiſchen Kohlenſpitzen, unter ſonſt gleichen Umſtänden, den größten Lichtbogen hervorbringen.

Die Fortführung der Subſtanz geſchieht ſtets von dem poſitiven zu dem negativen Pole. In der Luft und bei metalliſchen Elektroden beſteht der Abſatz auf dem negativen Pol immer aus dem oxydirten Staub des Metalls der poſitiven Elektrode.

Giebt man dem einen Pol die Form einer Platte, welcher der andere Pol in Geſtalt einer Spitze gegenüberſteht, ſo bildet die Ablagerung der fortgeführten Subſtanz auf der Platte, wenn ſie negativ und die Spitze poſitiv iſt, einen ſehr regelmäßigen Ring, deſſen Mittelpunkt die Projection der Spitze auf die Platte iſt.

Wenn der Lichtbogen zwiſchen einer Queckſilberfläche und einer ihr gegenüberſtehenden Metallſpitze erzeugt wird, ſo ſteigt es in Form eines Kegels in die Höhe, wenn es poſitiv, es bildet ſich aber eine Vertiefung, wenn es negativ iſt.

Es iſt ſchwierig hier, wegen der großen Menge des ſich hierbei bildenden Queckſilberdampfes, Details zu beobachten.

De la Rive ſtellte Verſuche mit Platten und Spitzen von Platin, Eiſen, Silber und Kupfer an, ich kann mich aber über die Einzelnheiten dieſer Verſuche nicht weiter auslaſſen, weil mir Manches unklar blieb; namentlich wollte es mir nicht gelingen, in den einzelnen Verſuchen überall die Nachweiſung und Begründung der ſo eben mitgetheilten allgemeinen Sätze herauszufinden. Eine Wiederholung dieſer Verſuche, und eine genaue, wo möglich durch Abbildungen erläuterte Beſchreibung erſcheint deshalb ſehr wünſchenswerth.

Leuchtkraft des galvaniſchen Flammenbogens. Ueber die Licht- 165
ſtärke des galvaniſchen Flammenbogens hat Caſſelmann Verſuche angeſtellt, welche in der ſchon oben, S. 384, angeführten Abhandlung beſchrieben ſind, aus welcher ſie auch in Poggendorff's Annalen übergingen (P. A. LXIII, 576). Das Photometer, welches er zu ſeinen Verſuchen anwandte, war nach denſelben Principien conſtruirt wie dasjenige, welches ich in der dritten Auflage meines Lehrbuchs der Phyſik beſchrieben habe (2ter Band, Seite 674). Die Kohlenſtücke, zwiſchen denen der Lichtbogen erzeugt wurde, waren aus derſelben Maſſe gebildet, welche zur Herſtellung der Kohlencylinder der Bunſen'ſchen Kette dient; jedoch waren ſie noch auf verſchiedene Weiſe präparirt worden, indem ſie mit

Löſungen von ſalpeterſaurem Strontian, Borſäure u. ſ. w. getränkt und nochmals ſtark geglüht wurden. Die ſo präparirten Kohlenſtücke geben einen, je nach der angewandten Subſtanz verſchieden gefärbten, ſehr ruhigen Lichtbogen der (bei einer Säule von 44 Bunſen'ſchen Bechern) erſt erliſcht, wenn die Kohlenſpitzen 7 bis 8 Millimeter von einander entfernt werden, während der unruhige Lichtbogen der rohen Kohle ſchon bei 5^{mm} Entfernung erliſcht.

In den Strom war gleichzeitig eine Tangentenbuſſole eingeſchaltet, ſo daß die jeder gemeſſenen Lichtſtärke entſprechende Stromſtärke gemeſſen werden konnte.

Die hellſten Punkte des ganzen Lichtphänomens ſind bekanntlich diejenigen Punkte der beiden Kohlenſtücke, auf welche der eigentliche Lichtbogen aufſetzt. Die folgende Tabelle giebt die jedem Falle entſprechende Lichtſtärke der beiden hellen Punkte, ſammt dem Bogen verglichen mit der Lichtſtärke einer Stearinkerze, und zwar für jede Kohlenart einmal bei ganz kleiner, dann bei möglichſt großer Entfernung der Kohlenſpitzen. — Die Werthe der Stromſtärke ſind bereits auf chemiſche Einheit reducirt.

	Entfernung der Kohlenſpitzen	Stromſtärke	Lichtſtärke
Rohe Kohle	0,5^{mm}	95	932
	4,5	68	139
Kohle mit ſalpeterſaurem Strontian	0,5	120	353
	6,75	88	274
Kohle mit Aetzkall	2,5	101	150
	8	82	75
Kohle mit Zinkchlorid	1,0	80	624
	5,0	67	159
Kohle mit Borax in Schwefelſäure	1,5	72	1171
	5,0	64	165

Dieſe Tabelle zeigt uns, daß mit der Entfernung der Spitzen Lichtſtärke und Stromſtärke abnimmt. Durch die meiſten der Subſtanzen, mit welchen die Kohle behandelt wurde, iſt der Lichtbogen zwar ruhiger, und eine größere Entfernung der Kohlenſpitzen möglich, aber keine größere Lichtſtärke erzielt worden; dies iſt nur der Fall bei der Kohle, die in eine Miſchung von Borax mit Schwefelſäure getaucht war.

Uebrigens ſind die Reſultate, welche in dieſer Tabelle aufgeführt wurden, nur annähernd genau, indem es bei der Veränderlichkeit der Lage, welche die blendenden Ausgangspunkte des Lichtbogens zeigen, es wohl vorgekommen ſein mag, daß nicht die ganze Lichtſtärke dem Photometer

zugewandt war. Bei einer folgenden Verſuchsreihe, welche die nächſte Tabelle im Auszug enthält, wurde dieſer Fehler dadurch vermieden, daß mittelſt eines Magnetſtabes der Lichtbogen nach dem Photometer hin gerichtet wurde. In dieſer Verſuchsreihe, bei welcher nur 34 Bunſen'ſche Becher angewandt wurden, blieb die Entfernung der Kohlenſpitzen ungeändert, und die Lichtſtärke wurde für verſchiedene Stadien der Stromſtärke gemeſſen.

	Stromſtärke	Lichtſtärke
Kohle mit Borſäure	41	198
	52	254
	57	298
Kohle mit ſchwefelſaurem Natron	38	178
	41	203
	52	346
	60	460

Die mit ſchwefelſaurem Natron getränkte Kohle war nach dem Eintauchen nicht mehr geglüht worden.

Dieſen Verſuchen zufolge wächſt die Lichtſtärke in einem etwas raſcheren Verhältniß als die Stromſtärke.

Leider haben wir gar keine Meſſungen über die Lichtſtärke des galvaniſchen Flammenbogens, wenn man verſchiedene Metalle anſtatt der Kohlenſpitzen anwendet.

Nach einer andern Seite haben Fizeau und Foucault vergleichende Verſuche über die Lichtſtärke des galvaniſchen Lichtbogens engeſtellt (Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XI, p. 370; P. A. LXIII, 463). Sie vergleichen nicht die Leuchtkraft, welche verſchiedene Lichtquellen haben, ſondern die Intenſität ihrer chemiſchen Wirkungen. In dieſer Beziehung vergleichen ſie den galvaniſchen Lichtbogen mit dem Sonnenlicht und dem Lichte des in Knallgas glühenden Kalkes. Der Verſuch wurde in folgender Weiſe ausgeführt: In einer camera obscura wurde eine jodirte Silberplatte an die Stelle geſetzt, an welcher das Bild der Sonne, des Kohlen- oder des Kalklichtes entſteht. Man ließ das Licht nur kurze Zeit wirken, verſchloß die camera obscura mit einem Schirm, und drehte ſie nun ein wenig ſeitwärts, ſo daß das Bild des leuchtenden Objectes auf der präparirten Silberplatte neben das erſte fiel; man ließ nun das Licht etwas länger einwirken, auf eine dritte Stelle noch länger u. ſ. w. Die Platte wurde nun in den Queckſilberkaſten gebracht und ermittelt, das wievielte Bild durch die Queckſilberdämpfe ſichtbar gemacht wurde

Man erfährt auf dieſe Weiſe, wieviel Zeit nöthig iſt, damit das Licht die zur Condenſation der Queckſilberdämpfe erforderliche Veränderung der Jodſilberſchicht hervorbringt.

Wären nun alle übrigen Umſtände gleich, ſo würde die zur Hervorbringung des Daguerre'ſchen Bildes nothwendige Zeit der chemiſchen Intenſität der Lichtquellen nahezu umgekehrt proportional ſeyn.

Fizeau und Foucault wandten aber zu ihren Verſuchen mit Kohlen- und Kalklicht Linſen von kürzerer Brennweite an, als zur Erzeugung von Sonnenbildern; ebenſo wurde die Oeffnung der Linſen durch vorgeſetzte Blendungen variirt. Dieſer Umſtände muß alſo Rechnung getragen werden.

Iſt das Bild $n$mal ſo weit von der Linſe entfernt, ſo wird caeteres paribus das Bild in ſeinen linearen Dimenſionen $n$mal größer ſeyn, es wird alſo eine n^2mal ſo große Fläche bedecken, die Lichtſtärke an jedem einzelnen Punkte des Bildes wird alſo n^2mal geringer. Die chemiſche Kraft der Lichtquelle iſt alſo dem Quadrat der Entfernung des Bildes von der Linſe proportional zu ſetzen.

Sie iſt aber auch, wie man leicht überſieht, umgekehrt der Fläche der Linſenöffnung, alſo dem Quadrate des Halbmeſſers der Linſenöffnung proportional zu ſetzen, wir haben alſo

$$J = \frac{d^2}{l \,.\, r^2},$$

wenn man mit J die (chemiſche) Lichtſtärke der Lichtquelle, mit d die Entfernung des Bildes von der Linſe, mit r den Halbmeſſer der Linſenöffnung, und mit l die zur Hervorbringung eines Daguerreſchen Bildes erforderliche Zeit bezeichnet.

Bezeichnet man mit α den Winkel, unter welchem der Radius der Linſenöffnung von der Bildſtelle aus geſehen erſcheint, ſo iſt

$$\frac{r}{d} = tang.\,\alpha,$$

alſo

$$J = \frac{1}{l \,.\, tang.\,\alpha}.$$

Nach dieſer, oder vielmehr nach einer ähnlichen, etwas anders geſtalteten, ihr aber äquivalenten Formel berechnen Fizeau und Foucault ihre Beobachtungsreſultate, und erhalten folgende Verhältnißzahlen für die Intenſität der Lichtquellen:

Sonnenlicht, im Auguſt und September bei reinem Himmel in den Mittagsſtunden	1000
Kohlenlicht, durch 46 Bunſen'ſche Zinkkohlenbecher erzeugt	235
Kalklicht	6,8.

Das Kalklicht erſcheint hier überraſchend gering, aber auch nach dem gewöhnlichen photometriſchen Verfahren fanden Fizeau und Foucault ein ähnliches Verhältniß zwiſchen Kalk- und Kohlenlicht. Es ſind nun eben keine andere vergleichende Meſſungen bekannt, welche ich mit dieſen zuſammenſtellen könnte; um ſo mehr aber iſt eine umſichtige experimentelle Prüfung derſelben zu wünſchen.

In Beziehung auf die Veränderung der Lichtſtärke des Kohlenlichtes mit der Anzahl und Größe der galvaniſchen Elemente finden ſich in jenem Aufſatze folgende Angaben. Während eine Säule von 46 Bunſen'ſchen Elementen die Lichtſtärke 235 gab, ſtieg dieſe nun auf 238, als die Zahl der Becher auf 80 vermehrt wurde; eine Säule von 46 3fachen Bechern, die ſchon eine Stunde lang thätig geweſen waren, gab dagegen die Lichtſtärke 385.

In Folge der raſchen Veränderung der Flüſſigkeit, indem ſich nämlich die verdünnte Schwefelſäure mehr und mehr in einer Löſung von Zinkvitriol verwandelt, nimmt die Kraft der Säule und folglich auch die Intenſität des Lichtbogens, den ſie hervorzubringen vermag, raſch ab. Während 80 Becher anfangs die Lichtſtärke 238 gaben, war dieſelbe nach 3 Stunden nur noch 159.

Leider haben franzöſiſche Phyſiker keine den Lichtſtärken correſpondirenden Meſſungen der Stromſtärke gemacht, in deren Verbindung die obigen Verhältnißzahlen einen ungleich größeren Werth erhielten.

Wärmeentwickelung durch den galvaniſchen Flammenbogen. 166
Die Wärmeentwickelung an den Polen, zwiſchen denen der Lichtbogen übergeht, iſt viel zu bedeutend, als daß man ſie nur dem Durchgang des elektriſchen Stromes durch dieſe Leiter zuſchreiben könnte. Den auf Seite 390 angeführten Verſuchen zufolge muß ein Strom, welcher einen Platindraht von 0,75^{mm} Dicke durchlaufend, denſelben weißglühend machen ſoll, wenigſtens die Stromſtärke 160 haben. Um einen Platindraht von 3 Millimeter Durchmeſſer nur weißglühend zu machen, iſt demnach wenigſtens die enorme Stromſtärke 640 erforderlich; und doch kann man mit dem Strom einer Säule von 44 Bunſen'ſchen Bechern bei einer Stromſtärke von 80 bis 100 einen Flammenbogen erzeugen, durch welchen man an einen mehr als 3 Millimeter dicken Platindraht leicht eine Kugel anzuſchmelzen vermag, wenn man ihn an die Stelle des einen Pols ſetzt, während der andere Pol fortwährend durch Kohle gebildet wird.

Die Verbrennung der Kohle findet hier in zu geringem Maaßſtabe ſtatt, als daß man ihr einen weſentlichen Antheil an der ſtarken Wärmeentwickelung zuſchreiben könnte, und zwar um ſo mehr, als die Schmel-

zung des Platindrahtes durch den galvaniſchen Flammenbogen im luftleeren Raum ebenſo gut gelingt wie in freier Luft.

Außer der Wärme, welche der elektriſche Strom in Folge ſeines einfachen Durchganges durch die Leiter in denſelben hervorbringt, muß er alſo bei der Bildung des Lichtbogens auch noch in einer andern Weiſe Wärme erzeugend in den Polen deſſelben wirken, über die wir jedoch bis jetzt nichts Näheres wiſſen.

Die Wärmeentwickelung iſt nicht gleich für die beiden Pole des Flammenbogens, ſie iſt ſtärker im poſitiven als im negativen. De la Rive führt für dieſe ſchon früher beobachtete Thatſache in der bereits auf Seite 408 angeführten Abhandlung noch folgende Beobachtungen an.

Wenn bei der Bildung des Lichtbogens eine poſitive Metallſpitze einer negativen Metallplatte gegenüberſtand, ſo wurde die Spitze durch und durch glühend, während ſie im umgekehrten Fall nur an ihren Enden erhitzt wurde.

Stehen ſich zwei Spitzen von gleichem Metall gegenüber, ſo wird die poſitive viel ſtärker und auf größere Entfernung hin glühend. Beſtehen die beiden Spitzen aus verſchiedenen Metallen, ſo glüht natürlich diejenige am ſtärkſten, welche aus dem am ſchlechteſten leitenden Metall gebildet iſt.

Hierher gehört noch eine Beobachtung von Walker, welche er mit einer Daniell'ſchen Batterie von 160 Bechern gemacht hat (Transact. of the Lond. electr. soc. p. 65 und 71; P. A. LV., 62). Er legt die Poldrähte über's Kreuz, doch ſo, daß ſie nach der Berührung wieder etwas von einander entfernt werden, daß alſo ein kurzer Flammenbogen zwiſchen ihnen übergeht. Dabei wird das poſitive Drahtende vom Kreuzungspunkte an in dem Grade rothglühend, daß es erweicht und ſich umbiegt, während der negative Draht verhältnißmäßig kalt bleibt.

Die großartigſten Verſuche über die Wirkungen der Hitze des Flammenbogens hat Despretz angeſtellt. Er brachte in Paris 500 Zinkkohlen-Becher zuſammen. Er ſtellte nun eine Säule von 124 Elementen zuſammen, deren jedes aus 4 Bunſen'ſchen Bechern beſtand. Als ein Stäbchen Zuckerkohle in einem bis auf 5 Millimeter evacuirten Glasballon zwiſchen die Pole des Flammenbogens gebracht wurde, kam es ſtark ins Glühen, und der Ballon überzog ſich mit einem trocknen, kryſtalliniſchen, ſchwarzen Pulver. Kohle aus Gasretorten verhielt ſich ebenſo. — Es beweiſt dies eine Verflüchtigung der Kohle.

Despretz glaubt auch Spuren von Schmelzung der Kohle beobachtet zu haben; jedenfalls beweiſen ſeine Verſuche, daß die Kohle ſich leichter verflüchtigen als ſchmelzen läßt. Er meint, daß ſie in eine Atmoſphäre von comprimirtem Stickgas in metallenen Gefäßen gelingen würde.

Aehnlich wie Kohle verhalten ſich Kalk, Talkerde, das Zinkoxyd u. ſ. w.

Die Thonerde, der Rutil, Anatas, Nigrin, das Eiſenoxyd u. ſ. w. geben anfänglich Kügelchen, gehen aber dann in Dunſt über.

Bevor Despretz mit dieſen 496 Bechern operirte, benutzte er eine Säule von 165 Elementen und combinirte die Hitze ihres Flammenbogens mit der des Knallgasgebläſes und der durch eine Zonenlinſe von 90 Centimeter Durchmeſſer concentrirten Sonnenhitze. Die Wirkung der galvaniſchen Säule wurde durch Hinzuthun dieſer andern Wärmequellen erhöht. (Comptes rendus, Juli 1849, Nr. 3, Dingler's polytechniſches Journal, CXIV. 342.)

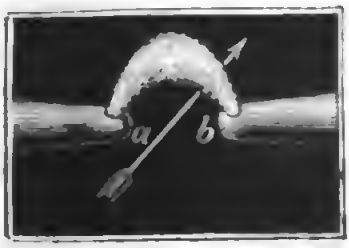
Einwirkung des Magnetismus auf den galvaniſchen Lichtbogen. 167

Daß magnetiſche Kräfte auf die Stellung und Geſtalt des Lichtbogens einen Einfluß haben, hat ſchon Davy beobachtet, und es iſt bekannt, daß der Lichtbogen von einem Magneten in derſelben Weiſe afficirt wird, wie ein vom galvaniſchen Strom durchfloſſener beweglicher Leiter; es muß demnach auch der Erdmagnetismus auf denſelben wirken. Durch die Bewegung der erhitzten Luft wird der Lichtbogen beſtimmt, ſtets eine nach oben gewölbte Biegung anzunehmen. Denkt man ſich bei horizontal liegenden Kohlenſpitzen durch die glühenden Anfangspunkte des Lichtbogens eine ſenkrechte Ebene gelegt, ſo wird in Folge der Wirkung des Erdmagnetismus auf den Lichtbogen, der höchſte Punkt derſelben nie in dieſer Ebene, ſondern auf der einen oder der andern Seite derſelben liegen. Caſſelmann theilt in ſeiner ſchon auf Seite 384 erwähnten Schrift Verſuche über dieſen Gegenſtand mit. Ging bei horizontal einander gegenüberſtehenden Kohlenſpitzen

der Strom von	ſo war die Abweichung des Gipfelpunktes nach
N nach S	O
W nach O	N
S nach N	W
O nach W	S.

Es läßt ſich dies leicht ableiten. In Fig. 152 ſtellen a und b die beiden horizontal gegenüberſtehenden Kohlenſpitzen dar, zwiſchen denen ſich der Lichtbogen bildet. Denken wir uns nun durch a und b eine Verticalebene und in der Mitte zwiſchen a und b rechtwinkelig auf dieſelbe eine gerade Linie gelegt, wie dies durch den Pfeil angedeutet iſt, ſo würde eine in dieſer Linie liegende Stahlnadel durch den Strom des Lichtbogens magnetiſirt werden, und zwar wird das Nordende der Nadel in

Fig. 152.



der Spitze des Pfeiles ſeyn, wenn der poſitive Strom von *a* durch den Bogen nach *b* geht. Durch den Einfluß des Erdmagnetismus wird aber das Nordende der Nadel geſenkt, und dem entſprechend muß alſo auch der Lichtbogen aus der Verticalebene heraus nach der Seite ſich neigen, auf welcher ſich das Nordende der Nadel befindet.

Liegt *a* weſtlich, *b* öſtlich, ſo muß alſo, wenn der Strom von *a* nach *b* geht, eine Neigung nach Norden erfolgen; ginge aber der Strom von Oſt nach Weſt, ſo würde das Nordende der fingirten Magnetnadel auf die Südſeite des Lichtbogens zu liegen kommen, alſo eine Neigung des Bogens nach Süden erfolgen müſſen.

Mit Hülfe dieſer fingirten Magnetnadel kann man unter allen Umſtänden ableiten, wie ſich der Lichtbogen unter dem Einfluß des Erdmagnetismus oder eines Magnetpols verhalten wird, oder welche Stellung er einnehmen muß, wenn man ihn zwiſchen die beiden Pole eines Hufeiſenmagneten bringt.

Wird ſtatt des einen Kohlenpoles ein Magnetſtab angewandt, ſo daß der Flammenbogen ſich zwiſchen Kohle und Stahl bildet, ſo rotirt der Flammenbogen um den magnetiſchen Stahlpol nach denſelben Geſetzen, nach welchen überhaupt ein beweglicher Strom um einen feſten Magneten rotirt.

Die erſte Notiz über dieſe Rotation des Flammenbogens giebt Walker in den Transactions of the London electrical society from 1837 to 1840. (P. A. LIV. 514.)

Auch de la Rive hat Verſuche über den Einfluß des Magnetismus auf den Volta'ſchen Bogen und zwar nach einer andern Richtung hin angeſtellt; ſie ſind in dem bereits auf Seite 408 angeführten Aufſatz beſchrieben.

Ich will hier die entſprechende Stelle aus de la Rive's Aufſatz ſelbſt folgen laſſen, und zwar deshalb wörtlich, weil ſie ein charakteriſtiſches Beiſpiel des Mangels an Präciſion der Darſtellung iſt, wodurch das Verſtändniß ſeiner Aufſätze ſo ſehr erſchwert wird, wie ich dies bereits auf Seite 409 berührte.

»Wenn zwei Spitzen von weichem Eiſen, die ſich innerhalb Gewinden »von dickem Kupferdraht befinden, als Elektroden angewandt werden, ſo »verſchwindet der zwiſchen denſelben ſich bildende Bogen in dem Momente, »als durch den Draht des Gewindes ein ſtarker Strom geleitet wird, und »er erſcheint wieder, ehe die Spitzen kalt geworden ſind, ſo wie man dieſen Strom aufhebt. Sobald die beiden Eiſenſpitzen magnetiſirt ſind, ſey »es durch eine galvaniſche Wirkung oder durch einen kräftigen Magnet, »kann der Bogen zwiſchen ihnen nicht eher zu Stande kommen, als bis »man ſie einander viel weiter nähert, wo dann aber die Erſcheinung ein

»ganz anderes Anſehen hat. Die fortgeführten Theilchen ſcheinen ſich »mit Schwierigkeit von der poſitiven Elektrode abzulöſen, und Funken »ſprühen mit Geräuſch in allen Richtungen fort, während es im erſten »Fall ein lebhaftes Licht ohne Funken und ohne Geräuſch war, begleitet »von dem anſcheinend mit der größten Leichtigkeit geſchehenden Uebergang »einer flüſſigen Maſſe. Es iſt in dieſer Beziehung für das Reſultat des »Verſuchs von geringem Belang, ob die magnetiſirten Eiſenſtäbe an ihren »zugewandten Enden, zwiſchen welchen der Lichtbogen befindlich iſt, gleich- »oder ungleichnamige Pole beſitzen.

»Wenn die poſitive Eiſen-Elektrode ſtark magnetiſirt iſt, ſo bewirkt ſie »im Moment, wo zwiſchen ihr und der negativen Elektrode, aus welchem »Stoff dieſe auch beſtehe, der Lichtbogen zu Stande kommt, ein ſehr ſtar- »kes Geräuſch, ähnlich dem ſcharfen Ziſchen, mit welchem der Waſſerdampf »aus einer Locomotive entweicht. Dies Geräuſch verſchwindet gleichzeitig »mit der Magnetiſirung.

»Um dieſe verſchiedenen Erſcheinungen beſſer zu trennen, ſtellte ich einen »Elektromagnet von großen Dimenſionen und großer Kraft in ſolcher »Weiſe auf, daß ich an jedem ſeiner Pole oder zwiſchen beiden verſchiedene »Metalle als eine der Elektroden der Säule anbringen konnte, während »eine Spitze von demſelben Metall oder einer andern Subſtanz als die »zweite Elektrode diente. Auch wandte ich zwei Spitzen eines ſelben Me- »talls oder verſchiedener Metalle unter gleichen Umſtänden als Elektroden »an. Folgendes ſind die erhaltenen Reſultate.

»Eine Platinplatte wurde auf einen der Pole des Elektromagneten ge- »legt und eine Spitze deſſelben Metalls vertical darüber aufgeſtellt. Die »Platte wurde poſitiv und die Spitze negativ gemacht, und der Volta'ſche »Bogen zwiſchen beiden entwickelt. Im Moment, wie der Elektromagnet »in Thätigkeit geſetzt ward, ließ ſich ein ſcharfes Ziſchen hören. Um den »Bogen zu unterhalten, mußte man die Spitze näher an die Platte brin- »gen, und der blaue kreisrunde Fleck, welcher ſich auf der Platinplatte »zeigte, war größer als wenn man den Verſuch ohne Einfluß des Elektro- »magnets anſtellte.

»† Nun machte man die Platte negativ und die Spitze poſitiv; dadurch »wurde die Erſcheinung eine ganz andere. So wie der Elektromagnet »geladen war, blieb der Lichtbogen nicht mehr vertical, ſondern nahm eine »ſchiefe Richtung an, wie wenn er auswärts, gegen den Rand der Platte, »geſchoben worden wäre. †† Unaufhörlich wurde er unterbrochen, jedes- »mal begleitet von einem ſcharfen und plötzlichen Geräuſch, ähnlich dem der »Entladung einer Leidner Flaſche. Die Richtung, in welcher der Lichtbo- »gen fortgeſchoben wird, hängt von der Richtung des ihn erzeugenden

»Stromes ab, ſo wie auch von der Lage der Platte auf dem einen oder »andern der Magnetpole oder zwiſchen denſelben.

»Eine Platte und eine Spitze, beide von Silber, Kupfer oder einem »andern nicht leicht ſchmelzbaren Metall zeigen im Allgemeinen dieſelben »Erſcheinungen. Kupfer und noch mehr Silber bieten indeß eine merk»würdige Eigenthümlichkeit dar. Platten von dieſen beiden Metallen be»halten auf ihrer Oberfläche die Eindrücke der Wirkung, welche bei den »eben beſchriebenen Verſuchen ſtattfinden. Wenn z. B. die Platte poſitiv »iſt, zeigt derjenige Theil ihrer Oberfläche, welcher unter der negativen »Spitze lag, einen Fleck in Form einer Spirale (helix), wie wenn das »daſelbſt geſchmolzene Metall eine wirbelnde Bewegung um ein Centrum »gemacht hätte zur ſelben Zeit, da es in Form eines Kegels gegen die »Spitze gehoben ward.«

Der Anfang iſt klar; nicht ſo die beiden letzten Abſätze. Die Stelle zwiſchen † und †† läßt vermuthen, daß die ſchiefe Richtung des Lichtbogens nur dann eintritt, wenn die Platte negativ, die Spitze poſitiv iſt; einige Zeilen ſpäter leſen wir aber, daß die Richtung, in welcher der Lichtbogen fortgeſchoben wird, von der Richtung des erzeugenden Stromes abhängt; es muß alſo auch ſtattfinden, wenn die Platte poſitiv und die Spitze negativ iſt. — Außerdem liegt in dieſer Stelle eine dunkle Andeutung vom Rotiren des Flammenbogens, aber ſo dunkel, daß der, welcher von dieſer Erſcheinung nichts weiß, nach dieſer Darſtellung ſicherlich keine Vorſtellung davon erhält. Daß dem Genfer Phyſiker dies Rotiren bei Abfaſſung dieſer Stelle wirklich vorgeſchwebt habe, geht auch aus dem Schluß des letzten Abſatzes hervor. — Aehnlichen Uebelſtänden begegnet man in de la Rive's Abhandlungen öfters; ſeine Beſchreibung giebt ſelten ein klar verſtändliches Bild der Erſcheinung. — Es iſt ſehr zu bedauern, wenn auf ſolche Weiſe die Reſultate ſo mancher ſchönen und ſchwierigen Experimentalunterſuchung nur mangelhaft zur Kenntniß des phyſikaliſchen Publikums kommen.

168 **Benutzung des galvaniſchen Lichtes zur Beleuchtung.** Die große Lichtſtärke des galvaniſchen Kohlenlichtes mußte bald auf die Idee führen, daſſelbe zur Beleuchtung anzuwenden, nachdem durch die Erfindung der conſtanten Ketten die Erzeugung deſſelben gegen früher ſehr erleichtert worden war.

Deleuil hat mehrmals öffentliche Verſuche mit dieſer Art von Beleuchtung angeſtellt. Das erſtemal beleuchtete er den Pavillon eines Hauſes an der Pont neuf in Paris mit 98 Zinkkohlenelementen. Acherau ſtellte ähnliche Verſuche auf dem Concorde Platze an. (Dingler's polyt. Journal, 91. Band, S. 324.)

Wenn auch die Intenſität des galvaniſchen Kohlenlichtes eine enorme iſt, wenn auch eine Batterie von 48 Bunſen'ſchen Elementen ebenſo viel Licht giebt, wie 63 gewöhnliche Gasbrenner, ſo erſcheint doch das galvaniſche Licht zur öffentlichen Beleuchtung unpraktiſch und zwar vorzugsweiſe aus folgenden Gründen.

Eine ungeheure Lichtmenge geht hier von einem einzigen Punkte aus, man wird deshalb ſehr ſchroffe Contraſte zwiſchen Licht und Schatten erhalten; im Schatten herrſcht eine Dunkelheit, die eben wegen des Gegenſatzes zum blendenden Lichte um ſo ſtörender iſt. Jedenfalls erhält man eine angenehmere, gleichförmigere Beleuchtung, wenn man 63 Gasflammen gehörig vertheilt, als wenn man ein ihnen äquivalentes Licht auf einem Punkte concentrirt.

Ein zweiter Umſtand, welcher der Anwendung des galvaniſchen Kohlenlichtes hinderlich iſt, beſteht in der Schwierigkeit, auf längere Zeit eine gleichmäßige Lichtſtärke zu erhalten.

Durch die Bildung von Zinkvitriol nimmt die Leitungsfähigkeit der Flüſſigkeit ſo ſtark ab, daß ſchon nach einer halben Stunde die Stromſtärke bedeutend ſchwächer iſt als anfangs; aber ſelbſt davon abgeſehen, iſt die Unterhaltung der Batterie höchſt koſtſpielig, denn es wird ungleich mehr Zink verzehrt, als zur Unterhaltung des Stromes nöthig iſt, und die Salpeterſäure wirkt zerſtörend auf die Metallringe, welche die Kohlencylinder umgeben. — Den Uebelſtänden, welche die Anwendung der Salpeterſäure mit ſich bringt, ließe ſich zwar durch Anwendung von Daniell'ſchen Elementen entgehen, dann aber müßte man die Batterie bedeutend vergrößern (Seite 299), um gleiche Wirkung zu erhalten.

Von ökonomiſcher Seite empfiehlt ſich alſo die galvaniſche Beleuchtung von Straßen, Sälen, Theatern u. ſ. w. nicht. Dazu kommt noch der Uebelſtand, daß die Behandlung der Säule und des ganzen Apparates zu difficil iſt, als daß man ſie den Perſonen anvertrauen könnte, welche gewöhnlich die Beleuchtung beſorgen, daß die Kohlenſpitzen ſich fortwährend verändern, und man ihre gegenſeitige Stellung alſo auch fortwährend reguliren muß, um die Gleichförmigkeit des Lichtes zu erhalten und ſein Auslöſchen zu verhindern. Durch mechaniſche Mittel iſt dieſe Regulirung ſchwer zu erhalten; doch hat es in dieſer Beziehung nicht an verſchiedenen Vorſchlägen gefehlt. So ließ ſich z. B le Molt im Jahre 1848 in England einen Apparat zur galvaniſchen Beleuchtung patentiren, in welchem Kohlenſcheiben von der Form Fig. 153 ſtatt der Kohlenſtäbchen angewandt werden. Zwei ſolcher Scheiben ſtehen mit ihren ſcharfen Rändern einander gegenüber; ihre Axe wird durch ein Uhrwerk gleichmäßig umgedreht und ihre Entfernung durch eine Metallfeder regulirt.

Fig. 153.

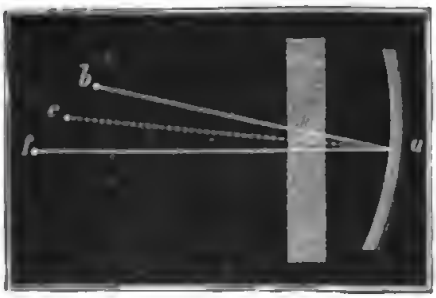
Somit iſt wohl ſchwerlich zu erwarten, daß die Anwendung des Galvanismus zur öffentlichen Beleuchtung praktiſche Erfolge haben wird. Sehr günſtige Reſultate haben dagegen die Verſuche von Donné und Foucault geliefert, welche das Kalklicht des ſogenannten Gasmikroſkop durch das galvaniſche Kohlenlicht erſetzten.

Eine ziemlich vollſtändige Beſchreibung des photo-elektriſchen Mikroſkops von Donné und Foucault findet ſich in der 4ten Auflage von Pouillet's Elements de physique expérimentale u. ſ w., im zweiten Theil, S. 746. Wir müſſen uns hier darauf beſchränken, das Weſentlichſte des Apparates anzudeuten. Der Lichtbogen wird zwiſchen Kohlenſtäbchen erzeugt, die aus der harten Kohle geſchnitten ſind, wie ſie die Gasretorten liefern; ſie haben die in Fig. 154 dargeſtellte Form, und zwar iſt das als negative Elektrode dienende Kohlenſtück zugeſpitzt, das andere gerade abgeſtumpft. Dieſe Kohlenſtücke ſind ſo gefaßt, daß ihre Stellung leicht regulirt werden kann.

Fig 154

Wie der Beleuchtungsapparat dieſes Mikroſkops eingerichtet iſt, kann der Hauptſache nach aus der ſchematiſchen Fig. 155 erſehen werden. *a* iſt ein Hohlſpiegel von ungefähr 1 Decimeter Oeffnung und 1,6 Decimeter Radius. Das Kohlenlicht befindet ſich bei *b*, etwas näher bei dem Spiegel als dem Krümmungsmittelpunkte *c* deſſelben und etwas höher als *c*, ſo daß die von *b* ausgehenden auf den Spiegel fallenden Strahlen in *f* wieder vereinigt werden und hier den kleinen Gegenſtand ſtark erleuchten, welcher vergrößert dargeſtellt werden ſoll. — Das Linſenſyſtem, welches das vergrößerte Bild des kleinen Gegenſtandes auf einer 4 bis 5 Meter entfernten Wand entwerfen ſoll, iſt ganz ſo eingerichtet, wie bei einem Sonnenmikroſkop.

Fig. 155.



Damit in *f* nicht eine zu große Hitze entſteht, iſt zwiſchen *b* und dem Spiegel ein Gefäß angebracht, deſſen Hauptwände durch Platten von geſchliffenem Spiegelglas gebildet ſind, und welches mit einer Alaunlöſung gefüllt wird, welche einen großen Theil der Wärmeſtrahlen abſorbirt, ohne die Lichtſtärke merklich zu ſchwächen

Man kann das durch den Hohlſpiegel erzeugte Bild des Flammenbogens in *f* ſelbſt zum Gegenſtand nehmen, welcher durch die Linſen vergrößert dargeſtellt wird, nur muß man alsdann eine ſchwächere Vergrö-

ßerung anwenden. Man erhält ſo ein ſtark vergrößertes Bild des Flammenbogens auf dem weißen Schirme und kann mit Muße alle Erſcheinungen beobachten, welche ihn begleiten.

Man kann das vergrößerte Bild des galvaniſchen Lichtbogens aber auch mit weit einfacheren Mitteln darſtellen; man braucht ihn nur direct nahe an den Brennpunkt einer Linſe von 1 bis 3 Centimeter Brennweite zu bringen. Natürlich muß man dafür ſorgen, daß das Kohlenlicht ſo eingeſchloſſen iſt, daß außer dem Linſenbild kein Licht auf den Schirm fällt. —

Galvaniſche Grubenbeleuchtung. Was von der galvaniſchen Be- 169
leuchtung im Allgemeinen geſagt wurde, gilt auch von den Vorſchlägen zur Grubenbeleuchtung durch Galvanismus; es ſind ſchwerlich viel praktiſche Erfolge davon zu erwarten. Weil man in einem luftleeren Glasgefäß, alſo ganz abgeſperrt von der äußeren Luft, ja unter Waſſer, das galvaniſche Kohlenlicht erzeugen kann, ſo glaubte Bouſſingault, es ließe ſich wohl ſtatt der Davy'ſchen Sicherheitslampe zur Beleuchtung ſolcher Gruben anwenden, in denen entzündliche Gaſe die Anwendung offener Lampen gefährlich macht. Allein man hat in den Gruben gar kein intenſives Licht an einer Stelle, ſondern nur ſchwache Lichte an ſehr verſchiedenen Stellen. Derſelbe Einwand läßt ſich gegen de la Rive's Vorſchläge machen, welcher in einem hermetiſch verſchloſſenen Glasballon den poſitiven Strom von einem vertical ſtehenden Kohlencylinder, zu einem ſenkrecht darüber angebrachten Metallcylinder übergehen läßt. (Dingler's polytechniſches Journal, XCVIII. S. 158 und 232; Moniteur industr. 1845, Nr. 961 und Nr. 965.)

Grove brachte ſtatt des Kohlenlichtes einen galvaniſch glühenden Platindraht in Vorſchlag, welcher ſich in einem hermetiſch verſchloſſenen Glasgefäß befindet. (Dingler's polytechniſches Journal, XCIX. S. 201; Philos. Magazine, December 1845, S. 442.) Er giebt dem Platindraht die Form einer Spirale, was außer dem Vortheil, ein längeres Stück Platindraht auf einen kleineren Raum zu bringen, auch noch den Vortheil hat, daß wegen der geringeren Abkühlung bei gleicher Stromſtärke die Platinſpirale ſtärker glüht, als wenn daſſelbe Drahtſtück geradlinig ausgeſpannt würde.

Ueber die Länge und Dicke des zur Spirale verwendeten Platindrahtes giebt Grove nichts Näheres an, ebenſo fehlen genauere Angaben über die Conſtruction der Platinſpirale: mit 2 bis 3 conſtanten Zinkplatinelementen erhält man auf dieſe Weiſe ein Stunden lang conſtantes Licht. Grove experimentirte bei dieſem Licht; was er that, iſt nicht angegeben, ſo daß alſo dieſe Notiz doch nur eine ſehr mangelhafte Vorſtellung von der Leuchtkraft des Apparates giebt. Zu Grubenarbeiten mag das Licht wohl

vollkommen ausreichen, und ſo iſt dieſer Vorſchlag weit praktiſcher, als die Benutzung des Kohlenlichtes zur Grubenbeleuchtung, namentlich da man nur wenig conſtante Becher dazu nöthig hat, während das Kohlenlicht eine große Batterie in Anſpruch nimmt; da aber auch dieſer Apparat jedenfalls koſtſpieliger und ſchwieriger zu behandeln iſt als die Davy'ſche Sicherheitslampe, ſo iſt in der Praxis wohl ſchwerlich eine große Verbreitung dieſer Beleuchtungsmethode zu erwarten.

Statt der Platinſpirale bringt King einen Streifen von ganz dünn gewalztem Platinblech in Anwendung, welchen er durch den galvaniſchen Strom glühend macht. (London Journal of arts, Juni 1846, S. 348; Dingler's polytechn. Journal CI. S. 12.)

170 **Der galvaniſche Funke.** Die meiſten Beobachter, welche über den galvaniſchen Lichtbogen Verſuche angeſtellt haben, machten die Beobachtung, daß man erſt die beiden Pole in Berührung bringen muß, wenn der Strom ſich bilden ſoll. Waren die Kohlenſpitzen einmal in Berührung, ſo kann man ſie nun von einander entfernen, wobei ſich dann der Lichtbogen bildet. — Die Bildung des Lichtbogens kann man auch anſtatt der Berührung dadurch bewerkſtelligen, daß man zwiſchen den Kohlenſpitzen den Entladungsfunken einer Leidner Flaſche überſchlagen läßt, eine Beobachtung, die Daniell (Phil. Transact. 1839. 89; Pogg. Ann. LX. 379.), und vor ihm ſchon Sturgeon gemacht hatte (Ann. of El. VIII. 507; P. A. XLIX. 122.), welcher glaubt, daß dieſer Verſuch von J. Herſchel herrührt. — Hier wird die Strombildung offenbar dadurch veranlaßt, daß der Funke leitende Partikelchen von einem Pol zum andern überführt.

Selbſt die kräftigen Batterien, welche man zur Erzeugung des Lichtbogens anwandte, haben alſo noch keine hinreichende Spannung, um das Ueberſpringen eines Funkens ſelbſt auf die kleinſten Entfernungen möglich zu machen.

Jakobi hat ſich durch genaue Meſſungen überzeugt, daß die Pole einer Säule von 12 Zinkplatinpaaren bis auf 0,00005 Zoll genähert werden konnten, ohne daß ein Funken überſprang (Bulletin der Petersburger Akademie; P. A. XLIV. 633.).

Förmliche Funken hat Gaſſiot mit ſeiner großen Waſſerbatterie erhalten (Phil. Transact. f. 1844. pt. I. p. 39; P. A. LXV. 476.). Dieſe merkwürdige Batterie beſtand aus 3520 Bechern, deren jeder einen Zinkſtab und einen Kupfercylinder enthielt. Zur Ladung diente Regenwaſſer. Die 3520 Glasbecher waren auf 44 eichene Bretter vertheilt, von denen immer 11 ein Geſtell, einem Bücherrepoſitorium ähnlich, und von 4 ſtarken Ständern getragen, bildeten. Beſondere Sorgfalt war auf

die Iſolirung verwendet worden; die Becher waren gefirnißt und ſtanden auf Glasplatten, die ebenſo wie die Bretter mit einem ähnlichen Firniß-überzug verſehen waren.

Es ließe ſich wohl erwarten, daß dieſe Batterie im ungeſchloſſenen Zuſtande bedeutende Spannungserſcheinungen hervorbringen mußte; und in der That divergirten die Pendel eines Goldblattelektroſkops ſchon, wenn man es dem einen Pole auf 2 bis 3 Zoll näherte. —

Sobald die Kette geſchloſſen wurde, verſchwanden alle Zeichen von Spannung.

Als die Pole der Batterie auf 0,02 Zoll genähert wurden, ſchlugen unausgeſetzt Funken zwiſchen ihnen über. In einem Fall dauerte dies Phänomen ununterbrochen Tag und Nacht fünf Wochen lang. Mehrere Monate nach ihrer Errichtung zeigte die Batterie noch keine Abnahme ihrer Kraft.

Da die gewöhnlichen galvaniſchen Ketten gar keine Schlagweite haben, ſo iſt klar, daß die Lichterſcheinungen, welche man beim Schließen und Oeffnen ſelbſt einfacher Ketten beobachtet, ein ganz anderes Phänomen ſeyn muß, als der gewöhnliche elektriſche Funken.

In dem ſo eben angeführten Aufſatz Jakobi's ſpricht er ſeine Anſicht dahin aus, daß der gewöhnliche galvaniſche Funke eine Glüh- und Verbrennungserſcheinung ſey; die äußerſten feinen Spitzen, welche zuerſt in Berührung kommen und welche zuerſt die Stromleitung herſtellen, werden glühend und verbrennen und veranlaſſen dadurch nach Jakobi's Meinung die Lichterſcheinung. Daß bei kräftigeren Funken ſolche Glüh- und Verbrennungserſcheinungen vorkommen, unterliegt keinem Zweifel, allein hier iſt das Phänomen ſchon ein zuſammengeſetztes; man beobachtet den bei der Schließung oder Oeffnung der Kette den Funken unter Umſtänden, wo ein Glühen oder Verbrennen höchſt unwahrſcheinlich iſt.

Neeff hat gezeigt, daß dieſe Lichterſcheinung, wenn ſie ganz einfach ohne ſecundäre Stromwirkungen auftritt, weder ein elektriſcher Funken im gewöhnlichen Sinne des Wortes, d. h. daß es nicht ein von Pol zu Pol überſpringender Funken iſt, noch daß ſie einer Metallverbrennung zugeſchrieben werden kann (P. A. LXVI. 414.).

An ſeinem ſogenannten Magnetelektrometer, wie er in der 3ten Auflage meines Lehrbuches der Phyſik, 2ter Theil, Seite 251, beſchrieben iſt, findet bei c eine continuirliche Schließung und Unterbrechung des Stromes ſtatt, welche von einer entſprechenden Lichterſcheinung begleitet iſt. Bei jener Form des Apparates wird die Beobachtung der Lichterſcheinung freilich durch die Breite des Hammers, welcher auf das Platinblättchen ſchlägt, verdeckt. Bei einer von Deſaga in Heidelberg erdachten ſehr zweckmäßigen Modification dieſes Apparates, welche weiter unten näher beſchrie-

den werden ſoll, iſt der Hammer durch eine Platinſpitze erſetzt, ſo daß in raſcher Aufeinanderfolge die Berührung zwiſchen einer Platinſpitze und einer Platinplatte hergeſtellt und wieder unterbrochen wird.

Wenn der Apparat im Gange iſt, beobachtet man an der Trennungsſtelle eine Lichterſcheinung, welche der Schnelligkeit der Oscillation wegen ganz continuirlich erſcheint.

Schon das bloße Auge beobachtet bei gedämpftem Tageslicht hier ein violettes Licht, der poſitive Strom mag von der Spitze zur Platte, oder von der Platte zur Spitze gehen; aber das Lichtpünktchen iſt überaus klein, und dadurch kam Reeff auf den Gedanken, die Erſcheinung mit dem Mikroſkop zu unterſuchen.

Mit bewaffnetem Auge beobachtete er, daß das Lichtphänomen immer nur am negativen Pol ſtattfindet.

Am beſten beobachtet man die Erſcheinung durch ein Mikroſkop, welches bei 25- bis 50facher Vergrößerung erlaubt, das Objectiv wenigſtens $1\frac{1}{2}$ Zoll weit vom Lichtpunkt anzubringen

Geht der poſitive Strom von der Platte zur Spitze über, ſo erſcheint die Spitze in ein violettes Licht eingehüllt, während die Platte ganz dunkel bleibt.

An dem unterſten Ende der Spitze erſcheinen in dem ſtetigen violetten Lichte einzelne außerordentlich feine Pünktchen von blendend weißem Lichte, welche eine wimmelnde Bewegung zeigen; allein auch bis gegen das obere Ende der violetten Lichthülle hin ſieht man violettes Licht von größerer Intenſität aufblitzen, ohne daß irgend ein Ueberſpringen nach dem andern Pole zu bemerken wäre.

Dies letztere Aufblitzen verſchwindet mehr und mehr, wenn der Strom ſchwächer wird.

Geht der Strom in entgegengeſetzter Richtung, iſt alſo die Spitze poſitiv, ſo erſcheint ſie ganz dunkel, und das violette Licht iſt auf der Platte um den Berührungspunkt herum ausgebreitet.

Hier iſt alſo durchaus kein eigentlicher Funken zu beobachten, allein auch einem Verbrennen des Platins kann dieſer gleichförmige ruhige violette Lichtſchimmer nicht zugeſchrieben werden.

Reeff macht noch beſonders darauf aufmerkſam, daß dieſe Lichterſcheinung auf den negativen Pol beſchränkt iſt, während die ſtärkſte Wärmeentwickelung gerade am poſitiven Pol auftritt.

Fünfter Abſchnitt.

Die chemiſchen Wirkungen des Stromes.

Daniell's Unterſuchungen über Elektrolyſe. Daß die chemi- 171
ſche Zerſetzung, welche ein galvaniſcher Strom hervorbringt, ſtets der Stromſtärke proportional ſey, iſt ein Satz, der wohl jetzt als feſt begründet angeſehen werden kann, und dennoch hat uns eine genauere Unterſuchung der Elektrolyſe verſchiedener Körper Erſcheinungen kennen gelehrt, die wir bis jetzt noch nicht genügend unter dieſes Geſetz zu bringen wiſſen. — Läßt man den Strom gleichzeitig durch eine Tangentenbuſſole und durch ein Voltameter gehen, ſo iſt die Quantität des entwickelten Knallgaſes ſtets der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, mag nun die Flüſſigkeit im Voltameter verdünnte Schwefelſäure, eine Löſung von Phosphorſäure oder auch eine Löſung von ſchwefelſaurem Natron ſeyn. Caſſelmann hat dies in ſeiner ſchon mehrfach erwähnten Abhandlung (Seite 70) durch eine Reihe genauer Verſuche nachgewieſen.

Auf den erſten Anblick ſcheint dies ganz vortrefflich mit dem Geſetz der feſten elektrolytiſchen Action zu harmoniren; bei der Salzlöſung aber ergab ſich, daß dieſelbe ebenfalls zerlegt war, daß die Säure an der poſitiven, die Baſis an der negativen Polplatte angehäuft war, daß alſo neben der, der Stromſtärke entſprechenden Waſſerzerſetzung auch noch ein Theil des Salzes zerlegt worden iſt.

Dieſe Erſcheinung hat zuerſt Daniell genauer beobachtet und unterſucht. (Phil. Transact. 1839, pt. I, pag. 97; 1840, pt. I., pag. 209; P. A. 1842, Ergänzungsband 565 und 580.)

In den Schließungsbogen einer Säule von 30 conſtanten Zinkkohlenzellen wurde eine Zerſetzungszelle von folgender Einrichtung eingeſchaltet. Ein ſtarker Glascylinder, etwa 14 Kubikzoll faſſend, urſprünglich oben und unten geſchloſſen, war der Länge nach durchſchnitten, dann zwiſchen

beiden Hälften eine poröſe Thonplatte gelegt, und nun das Ganze durch Meſſingringe mit Schrauben wieder vereinigt. — In jeder der beiden ſo gebildeten Zellen befand ſich eine Platinelektrode $2\frac{3}{4}$ Zoll lang und 1 Zoll breit, befeſtigt an einem Draht, der durch den Boden des Gefäßes geht. Ein oben in jede Zelle eingeſchliffenes gekrümmtes Glasrohr diente zur Fortleitung des entwickelten Gaſes. Ein vorläufiger Verſuch zeigte, daß deſtillirtes Waſſer, mit dem die eine Zelle gefüllt ward, noch nach 24 Stunden nicht in merklicher Menge in die andere gedrungen war.

Fig. 156.

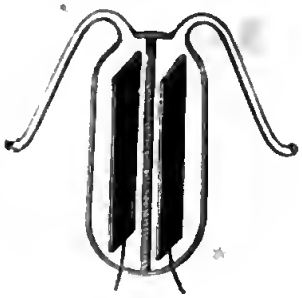


Fig. 156 ſtellt dieſen Apparat, jedoch nur ſchematiſch dar. An der citirten Stelle von Poggendorff's Annalen iſt zwar auf eine Tafel VI. verwieſen, auf welcher die zum Daniell'ſchen Aufſatz gehörigen Figuren ſich befinden ſollen, allein dieſe Tafel fehlt, und zwar in allen Exemplaren, die ich nachſehen konnte.

Der erſte Verſuch, welcher mit dieſem Apparate angeſtellt wurde, war folgender; beide Zellen wurden bis zur Bedeckung der Elektroden mit einer Löſung von ſchwefelſaurem Natron gefüllt, und der Apparat dann ſo lange mit der Batterie in Verbindung erhalten, bis die entwickelten Gaſe zuſammen 29 Kubikzoll (reducirt 28,3 Kubikzoll) betrugen. Dem Gewichte nach waren alſo 3,6 Gran Waſſer zerſetzt worden.

Die Löſung an der negativen Polplatte war ſtark alkaliſch; ſorgfältig mit einem Glasheber herausgenommen und mit Schwefelſäure von beſtimmtem Gehalt geſättigt, fanden ſich darin 12 Gran freien Natrons.

Die Löſung am poſitiven Pol war ſauer und ergab bei Sättigung mit einer Löſung von kohlenſaurem Natron von beſtimmtem Gehalt, 15,1 Gran freier Schwefelſäure.

Setzen wir das Atomgewicht des Sauerſtoffs = 100, ſo iſt das des Waſſers 112,5; das Atomgewicht der Schwefelſäure iſt dann 500 und das des Natrons 390.

Nun verhalten ſich aber

$$112{,}5 : 390 = 3{,}6 : \mathbf{12{,}5}$$

und

$$112{,}5 : 500 = 3{,}6 : \mathbf{16}.$$

Auf 1 Aequivalent zerlegten Waſſers iſt alſo in der einen Zelle ſehr nahe 1 Aequivalent Schwefelſäure, in der andern ſehr nahe 1 Aequivalent Natron ausgeſchieden worden.

Mehrere Verſuche mit andern Salzen gaben daſſelbe Reſultat.

Ueber das Verhältniß der chemiſchen Zerſetzung zur Stromſtärke giebt uns dieſer Verſuch noch gar keinen Anhaltspunkt. Dies Verhältniß würde ſich am einfachſten und präciſeſten ergeben haben, wenn außer der erwähnten Zerſetzungszelle noch eine Tangentenbuſſole in den Strom eingeſchaltet geweſen wäre; leider ſcheint dies Inſtrument in England noch faſt gar nicht bekannt zu ſeyn, wenigſtens wird es wenig angewendet.— Daniell ſchaltete ſtatt deſſen noch ein Voltameter in den Strom ein, welches mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt war; es ergab ſich gleich viel Knallgas im Voltameter und in der mit Glauberſalz gefüllten Zelle, allein es ergab ſich, daß auch in dem Voltameter außer der Waſſerzerſetzung noch eine weitere Wirkung ſtattgefunden hatte, denn die Säure hatte ſich am poſitiven Pole angehäuft.

Deshalb unterſuchte Daniell die Zerſetzung der verdünnten Schwefelſäure in einer mit poröſer Scheidewand verſehenen Zerſetzungszelle genauer und fand, daß, nachdem eine beſtimmte Menge Gas entwickelt war, ſich in der Abtheilung der poſitiven Polplatten im Vergleich zum zerſetzten Waſſer ungefähr $\frac{1}{4}$ Aequivalent Schwefelſäure mehr, in der Abtheilung der negativen Polplatte $\frac{1}{4}$ Aequivalent Schwefelſäure weniger vorhanden war als vor dem Verſuch; es hat alſo hier neben der Waſſerzerſetzung eine der Zerlegung des Salzes analoge Trennung von Waſſer und Schwefelſäure, wenn auch nur zu $\frac{1}{4}$ Aequivalent, ſtattgefunden.

Dieſe Ueberführung von Schwefelſäure im Betrage von nahezu $\frac{1}{4}$ Aequivalent des zerlegten Waſſers war von dem Concentrationsgrade der Säure unabhängig. Daniell hat den Verſuch auf mannichfache Weiſe abgeändert, iſt aber immer zu demſelben Reſultat gekommen.

Ein Voltameter mit Schwefelſäure gefüllt iſt alſo hier nicht anwendbar, um die Stärke des Stromes zu meſſen, welcher durch die Glauberſalzlöſung hindurchgeht.

Außer der mit der Salzlöſung gefüllten Doppelzelle ſchaltete Daniell nun noch geſchmolzenes Chlorblei in den Schließungsbogen der Batterie ein. Es befand ſich in einer gebogenen über einer Weingeiſtlampe befindlichen Röhre von bleifreiem Glaſe; als negativer Pol diente im geſchmolzenen Chlorblei ein Platindraht, während der negative Pol durch Graphit gebildet war. Am Graphit entwich das Chlorgas, am Platindraht ſetzte ſich das ausgeſchiedene Blei ab.

Hier ergab ſich nun folgendes merkwürdige Reſultat. Auf 1 Aequivalent zerſetzten Chlorbleis wurde in der andern Zerſetzungszelle 1 Aequivalent Waſſer und außerdem noch 1 Aequivalent Salz zerlegt.

Nach der gewöhnlichen Betrachtungsweiſe erſcheint alſo in der Salzlöſungszelle eine doppelt ſo große chemiſche Wirkung als diejenige iſt, welche

derſelbe Strom in der Chlorbleizelle hervorbrachte; mit dem Geſetz der feſten elektrolytiſchen Action ſteht das in directem Widerſpruch.

Um dieſen Widerſpruch zu heben, betrachtet Daniell die Conſtitution der Salze anders, als es gewöhnlich geſchieht; er betrachtet z. B. das ſchwefelſaure Natron nicht als zunächſt gebildet durch die Verbindung von Säure und Baſis, ſondern er nimmt an, der elektronegative Beſtandtheil des Salzes ſey 1 Aequivalent Schwefel mit 4 Aequivalenten Sauerſtoff, während der poſitive Beſtandtheil dieſes Salzes nur Natrium iſt.

Gemäß dieſer Anſicht wäre alſo

Schwefelſaures Natron	nicht	$SO_3.NaO$,	ſondern	$SO_4.Na$,
Schwefelſaures Kali	»	$SO_3.KO$	»	$SO_4.K$,
Salpeterſaures Kali	»	$NO_5.KO$	»	$NO_6.K$,
Phosphorſaures Natron	»	$PO^5/_2.NaO$	»	$PO^7/_2.Na$,
Kupfervitriol	»	$SO_3.CuO$	»	$SO_4.Cu$.

Geht der Strom durch die Auflöſung eines ſolchen Salzes, ſo wird nicht das Waſſer, ſondern das Salz in die eben bezeichneten Beſtandtheile zerlegt. Bei der Elektrolyſation des Glauberſalzes tritt alſo an der poſitiven Polplatte als directe Wirkung der Elektrolyſe SO_4 auf, von dem ſich aber ſogleich O abſcheidet, um gasförmig zu entweichen und SO_3 zurückzulaſſen, während das am andern Pol ausgeſchiedene Na den Sauerſtoff des Waſſers an ſich zieht, und ſo für jedes Aequivalent Na ein Aequivalent Waſſerſtoff entbindet, während das durch ſecundäre Wirkung entſtandene NaO in der Flüſſigkeit gelöſt bleibt.

Ganz ebenſo geht der Proceß bei der Elektrolyſation des Kupfervitriols vor ſich, mit dem einzigen Unterſchiede, daß das am negativen Pol reducirte Kupfer ſich nicht ſogleich wieder oxydirt und dadurch Waſſerſtoff frei macht, ſondern ſich in metalliſcher Form in den negativen Pol anſetzt.

Daniell ſchlägt auch eine dieſer theoretiſchen Anſicht von der Conſtitution der unorganiſchen Salze entſprechende neue Nomenclatur vor; ſo nennt er die Verbindung SO_4 Oxyſulphion, NO_6 Oxynitrion u. ſ. w. Demgemäß iſt

Schwefelſaures Kupferoxyd = Kupferoxyſulphion,
Salpeterſaures Kali = Kaliumoxynitrion
u. ſ. w.

Die Verſuche mit concentrirter Salmiaklöſung ſtimmen ganz mit der Anſicht überein, daß der Salmiak Chlor-Ammonium ſey, alſo zuſammengeſetzt iſt aus dem einfachen Anion (negativer Beſtandtheil) Cl (Chlor) und dem zuſammengeſetzten Kathion (poſitiver Beſtandtheil) NH_4 (Ammonium). Der aus Zinn beſtehende poſitive Pol wurde aufgelöſt, während am negativen Pol Waſſerſtoff und Ammoniak frei wurde, entſtanden durch das Zerfallen von NH_4 in NH_3 und H.

Das ſchwefelſaure Ammoniak iſt demgemäß Ammonium-Oxyſulphion, $SO_4 . NH_4$.

Dieſe Anſichten führen dann auch zu der in der Chemie ſchon mehrfach beſprochenen Verallgemeinerung der Theorie der Waſſerſtoffſäuren, der zu Folge die waſſerhaltigen Sauerſtoffſäuren, wie die Waſſerſtoffſäuren, binäre Verbindungen von Waſſerſtoff mit einem Radical ſind; ſo wäre alſo die Schwefelſäure $SO_4 . H$.

Zwiſchen Schwefelſäurehydrat $SO_4 . H$ und ſchwefelſaurem Natron $NO_4 . Na$ beſtände demnach dieſelbe Beziehung wie zwiſchen Salzſäure ClH und Kochſalz ClNa; das H iſt nur durch Na erſetzt.

Mit dieſer Anſicht wollen nun die oben erwähnten Verſuche über die Elektrolyſe der verdünnten Schwefelſäure noch nicht recht harmoniren.

Wenn das Schwefelſäurehydrat wirklich Waſſerſtofforyſulphion iſt, ſo muß es bei der Elektrolyſe in H und SO_4 zerlegt werden; das am poſitiven Pol freiwerdende Oxyſulphion zerfällt aber ſogleich in SO_3 und O, welch letzterer Beſtandtheil gasförmig entweicht, während SO_3 in der Flüſſigkeit zurückbleibt; es müßte alſo für jedes Aequivalent Waſſerſtoffgas, welches an der negativen, und für jedes Aequivalent Sauerſtoffgas, welches an der poſitiven Elektrode frei wird, ein Aequivalent Schwefelſäure SO_3 am poſitiven Pol auftreten; den oben angeführten Verſuchen zufolge findet ſich aber nach der Elektrolyſe in der poſitiven Zelle nur $^1/_4$ Aequivalent SO_3 mehr als vorher.

Der Verſuch wurde auf mehrfache Weiſe abgeändert, aber ſtets mit demſelben Erfolge.

Ebenſo verhielt ſich Phosphorſäure. Durch die Elektrolyſe wurde der Gehalt an Phosphorſäure in der poſitiven Zelle nur um $^1/_4$ Aequivalent vermehrt.

Derſelbe Verſuch, mit Aetzkalilauge angeſtellt, zeigte, daß während 1 Aequivalent Waſſer zerſetzt wurde, etwas weniger als $^1/_3$ Aequivalent Kali zum negativen Pole wanderte.

Barytwaſſer gab gleiche Reſultate wie Aetzkalilauge.

Eine große Stütze würde es für die Daniell'ſche Anſicht geweſen ſeyn, wenn es ihm gelungen wäre, das hypothetiſche Oxyſulphion, SO_4, zu iſoliren. Um dies wo möglich zu erreichen, nahm er die Elektrolyſe verdünnter Schwefelſäure, verdünnter Phosphorſäure, oder einer Löſung von ſchwefelſaurem Natron in einer Uförmig gebogenen, unten mit Scheidewänden verſehenen Zerſetzungszelle vor und erkaltete den Schenkel, welcher die poſitive Polplatte enthielt, mittelſt einer Kältemiſchung bis auf 0° F.; er dachte durch die Kälte das Zerfallen von SO_4 in SO_3 und O zu verhindern. Dieſe Verſuche führten aber zu keinem Reſultat.

Daniell machte nun Verſuche mit Löſungen ſaurer Salze. Er be-

reitete eine Löſung von ſaurem ſchwefelſaurem Kali. Nach der Elektrolyſe ergab ſich, daß für jedes Aequivalent Waſſerſtoffgas, welches an dem negativen Pol entwickelt worden war, ein Aequivalent Sauerſtoff am poſitiven Pol aufſtieg, daß aber nur die Zelle des negativen Poles $\frac{1}{3}$ Aequivalent Kali und die Zelle des poſitiven Poles $\frac{1}{2}$ Aequivalent Schwefelſäure mehr enthielt als vorher, oder mit andern Worten für 1 Aequivalent zerſetzten Waſſers iſt $\frac{1}{3}$ Aequivalent Kali zum negativen und $\frac{1}{2}$ Aequivalent Schwefelſäure zum poſitiven Pole übergeführt worden.

Dies Reſultat erſcheint auf den erſten Anblick ſehr verwickelt, doch gelang es Daniell, es unter einen einfachen Geſichtspunkt zu bringen. — Nehmen wir nämlich an, die Flüſſigkeit beſtehe aus drei Elektrolyten, Waſſer, neutrales ſchwefelſaures Kali und Schwefelſäurehydrat, oder nach Daniell's Bezeichnung OH, SO_4K und SO_4H. Theilt ſich nun der Strom ſo, daß die Hälfte durch HO, ein Viertel durch SO_4K und ein Viertel durch SO_4H geleitet wird, ſo ergeben ſich als directe Reſultate der Zerſetzung:

Am poſitiven Pol.	Am negativen Pol.
Aus OH	
$\frac{1}{2}$ Aeq. O	$\frac{1}{2}$ Aeq. H.
Aus SO_4K	
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_4	$\frac{1}{4}$ Aeq. K.
Aus SO_4H	
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_4	$\frac{1}{4}$ Aeq. H.

Durch ſecundäre Wirkung zieht jetzt das $\frac{1}{4}$ Aeq. Kali $\frac{1}{4}$ Aeq. Sauerſtoff an ſich, um $\frac{1}{4}$ Aeq. KO zu bilden, wodurch hier $\frac{1}{4}$ Aeq. H frei wird, auf der andern Seite aber zerfällt das SO_4 in SO_3 und O, und ſo haben wir

am poſitiven Pol	am negativen Pol
$\frac{1}{2}$ Aeq. O	$\frac{1}{2}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + $\frac{1}{4}$ Aeq. O	$\frac{1}{4}$ Aeq. KO + $\frac{1}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq SO_3 + $\frac{1}{4}$ Aeq. O	$\frac{1}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{2}$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O,	$\frac{1}{2}$ Aeq KO + 1 Aeq. H,

was in der That mit den Reſultaten des Verſuchs ganz gut übereinſtimmt.

Dies gab nun auch den Schlüſſel, um die Zerſetzung der verdünnten Schwefelſäure zu erklären; ſie iſt ein zuſammengeſetztes Elektrolyt, beſtehend aus Waſſer und Schwefelſäurehydrat; der Strom theilt ſich ſo, daß $\frac{3}{4}$ durch das Waſſer, $\frac{1}{4}$ durch das Schwefelſäurehydrat geleitet werden und man erhält alſo

am poſitiven Pol	am negativen Pol
$\frac{3}{4}$ Aeq. O	$\frac{3}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_4	$\frac{1}{4}$ Aeq. H.

und durch Zerfallen von SO_4

am poſitiven Pol	am negativen Pol
$\frac{3}{4}$ Aeq. O	$\frac{3}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + $\frac{1}{4}$ Aeq. O	$\frac{1}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O	1 Aeq. H,

ganz wie es der Verſuch gezeigt hat.

Als Stütze für ſeine Anſicht über die Elektrolyſe ſeiner Salze führt Daniell noch den Umſtand an, daß aus einer neutralen Löſung von Kupfervitriol ſich das Kupfer in einer compacten Maſſe am negativen Pol ausſcheidet und ſich dabei auf's innigſte allen Geſtaltungen deſſelben anſchließt, während das Kupfer ſich mehr in pulverförmigem Zuſtande niederſchlägt, wenn die Löſung ſtark ſauer iſt.

So lange die Löſung neutral iſt, wird nur SO_4.K zerlegt und alſo nur K an der Platinode ausgeſchieden, während bei einer ſauren Löſung auch noch HO und SO_3H elektrolyſirt wird und alſo am negativen Pol neben K auch noch H frei wird.

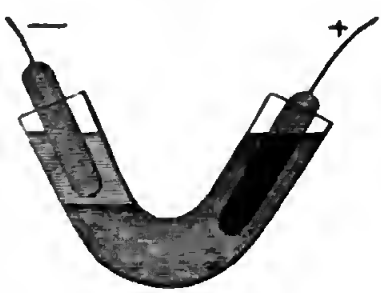
Am Schluſſe ſeiner Abhandlung theilt der Verfaſſer noch einige nachträgliche Beobachtungen über Elektrolyſe ſecundärer Verbindungen mit.

Er unterſuchte kohlenſaures Kali, Natron und Ammoniak und fand, daß die Kohlenſäure und der Sauerſtoff, welche beide als Gaſe am poſitiven Pol frei wurden, äquivalent waren dem Alkali und Waſſerſtoff am negativen Pol. Er betrachtet demnach auch die kohlenſauren Salze als Oxycarbonione von Kalium, Natrium, Ammonium u. ſ. w.

Niederſchläge an den Scheidewänden. In dem eben beſprochenen 172
Aufſatze beſchreibt Daniell noch einige weitere, ſehr intereſſante Erſcheinungen, die wir, um den Gang nicht zu unterbrechen, erſt jetzt in beſonderen Paragraphen betrachten wollen, nämlich: Niederſchläge an den Scheidewänden und die Anhäufung der Flüſſigkeit am negativen Pol.

Schon Faraday hat gefunden, daß wenn der poſitive Pol in einer concentrirten Löſung von Bitterſalz ſich befindet, der negative aber in Waſſer, welches auf dem Bitterſalz ſchwimmt (man kann den Verſuch am einfachſten auf die in Fig 157 angedeutete Weiſe anſtellen), daß alsdann bei Durchleitung eines ſehr kräftigen Stromes Bittererde an der Berührungsfläche beider Flüſſig-

Fig. 157.



keiten ausgeſchieden wird. Im Waſſer wandert der Sauerſtoff gegen den +Pol hin, in der Bitterſalzlöſung aber das Magneſium gegen den —Pol; wo ſich beide an der Gränzfläche der Flüſſigkeiten begegnen, verbinden ſie ſich zu Bittererde, welche ausgeſchieden wird.

Aehnliche Beobachtungen theilt nun Daniell in dem erwähnten Aufſatz mit.

Einen unten durch Blaſe verſchloſſenen Glascylinder füllte er mit verdünnter Aetzkalilöſung und ließ denſelben in ein weiteres Glas, welches concentrirte und neutrale Löſung von ſchwefelſaurem Kupferoxyd enthielt, ſo weit hinab, daß er ſo eben in die Löſung eintauchte. Dann tauchte er in die Kalilöſung die negative, in die Löſung des Kupfervitriols die poſitive Polplatte einer Batterie von 20 Zellen. Am negativen Pol entwickelte ſich Waſſerſtoffgas, an dem poſitiven Sauerſtoff, während die Blaſe, von der auch etwas Gas aufſtieg, ſich reichlich mit metalliſchem Kupfer bekleidete, in welches Kupferoxyd und blaues Kupferoxydhydrat eingeſprengt waren.

Dieſer Vorgang erklärt ſich ſo. Das ſchwefelſaure Kupferoxyd zerfällt in SO_4 und Cu; erſteres geht zum poſitiven Pol, letzteres, das Kupfer, wandert zur Blaſe, wird hier aufgehalten und tritt dem aus der Elektroliſe der Kalilöſung entſpringenden Waſſerſtoff ſeine Ladung ab, der ſich nun am negativen Pole entwickelt. Andererſeits wird auch der Sauerſtoff der Kalilöſung auf ſeinem Wege gegen den poſitiven Pol durch die Blaſe aufgehalten, giebt ſeine Ladung an das dorthin wandernde SO_4 ab und verbindet ſich mit dem Kupfer, dem er an der Blaſe begegnet. Indeß iſt die Wirkung zu raſch, als daß dieſe Verbindung vollſtändig vor ſich gehen könnte, ein Theil des Kupfers ſetzt ſich metalliſch an der Blaſe ab, während ein Theil des Sauerſtoffs von ihr gasförmig aufſteigt.

In der That verſchwindet das metalliſche Kupfer um ſo mehr, je ſchwächer der Strom wird. Bei ſchwächeren Strömen bedeckte ſich die Blaſe mit einem dicken Ueberzug von Kupferoxyd, in welchem nur einige Flitterchen Kupfer ſichtbar waren.

Aus ſalpeterſaurem Silberoxyd ſchlug ſich auf die Blaſe viel Silber nieder, gemiſcht mit Silberoxyd; auch entwickelte ſich Gas an der Blaſe. An dem poſitiven Pol entwich nicht der geſammte Sauerſtoff, ſondern ein Theil deſſelben verband ſich durch ſecundäre Action mit dem Silberoxyd der Löſung zu Hyperoxyd.

Salpeterſaures Bleioxyd gab ähnliche Reſultate.

Salpeterſaures Queckſilberoxydul zeigte die auffallendſte Erſcheinung. Nicht nur lagerten ſich Queckſilberkügelchen auf der Blaſe ab, ſondern dieſe drangen fortwährend in einem feinen Regen hindurch. (Dieſer Ausdrucksweiſe zufolge iſt zu vermuthen, daß die Löſung von ſalpeter-

ſaurem Queckſilberoxydul mit dem poſitiven Pol ſich innerhalb der zugebundenen Röhre befand.)

Anhäufung von Flüſſigkeit am negativen Pol. Die Erſchei- 173
nung, daß Flüſſigkeiten unzerſetzt von der einen Elektrode zu der andern fortgeführt werden, iſt zuerſt von Porret beobachtet worden (Annals of Philosoph. Jul. 1816; P. A. XII. 618.). Er theilte ein Glas durch eine Scheidewand von thieriſcher Blaſe in zwei Zellen, füllte dieſe mit Waſſer und hing in jede eine Platinplatte, die er dann mit den Polen einer Säule von 80 Plattenpaaren verband. Dabei wurde faſt die geſammte Flüſſigkeit in die negative Zelle getrieben. Dieſe Erſcheinung fand nicht ſtatt, wenn das Waſſer durch Zuſatz von Schwefelſäure leitender gemacht wurde.

Daniell füllte ſeine Zerſetzungszelle mit deſtillirtem Waſſer. Bei Verbindung dieſer mit einer Batterie von 30 Zellen erſchienen nur wenig Blaſen an den Elektroden (wieder ein Fall, wo die Einſchaltung einer Tangentenbuſſole ſehr wünſchenswerth geweſen wäre), und es entwickelte ſich nichts; allein nach 40 Minuten ſtand die Flüſſigkeit an dem negativen Pol ½ Zoll höher als am poſitiven. Als er in dem Waſſer an dem poſitiven Pol etwas friſch gefälltes Eiweiß vertheilte, wurde ſichtbar eine Portion dieſer fein vertheilten Subſtanz mit dem Waſſer zu dem negativen Pol geführt.

Bei Füllung der Zelle mit einer Miſchung von 8 Theilen Waſſer und 1 Theil Schwefelſäure, trat kein Niveauunterſchied ein.

Die Erſcheinung hängt jedoch nicht vom Leitungsvermögen ab, denn ſie zeigt ſich bei gut leitenden Salzlöſungen oft noch ſtärker, als bei reinem Waſſer.

Als eine Löſung von Glauberſalz in der durch die poröſe Wand getrennten Zelle ſich befand, ſtieg die Flüſſigkeit in der negativen Zelle um 1½ Zoll, während daſelbſt 9 Kubikzoll Sauerſtoffgas frei wurden; bei phosphorſaurem Natron betrug der Höhenunterſchied 2 Zoll. Salpeterſaures Kali zeigte die Erſcheinung in weit geringerem Maaße.

Um zu ermitteln, ob bei dieſem Fortführungsproceß die ganze Flüſſigkeit fortgeführt wird, oder nur das Salz oder das Waſſer, nahm Daniell das ſpecifiſche Gewicht vor und nach dem Proceß, ohne einen merklichen Unterſchied zu finden.

Was auch die nächſte Urſache dieſer Erſcheinung ſeyn mag, ſo ſcheint ſie doch Analogie zu haben mit der Ueberführung gut leitender Subſtanzen, die bei der Bildung des Flammenbogens die Verbindung der beiden Pole unterhalten.

Daniell glaubt übrigens, daß dieſer Proceß nichts mit der Endosmoſe zu thun habe. —

174 **Elektrolyſe polybaſiſcher Salze.** Daniell hat ſeine Unterſuchungen über Elektrolyſe im Verein mit Miller auch noch auf complicirtere Fälle ausgedehnt (Phil. Transact. f. 1844 pt. I, P. A. LXIV. 18), von denen wir zunächſt die Elektrolyſe der verſchiedenen Modificationen phosphorſaurer Salze näher betrachten wollen.

Um aber dieſe intereſſanten Erſcheinungen auch Denen verſtändlich zu machen, welchen die Details über die Conſtitution der phosphorſauren Salze nicht genügend bekannt ſind, will ich das Weſentlichſte davon kurz auseinanderſetzen, mit der Bemerkung, daß man dieſen Gegenſtand mit ganz beſonderer Klarheit im Otto-Graham's Lehrbuch der Chemie, 2te Auflage, 2ten Bandes, 1ſte Hälfte, S. 380, behandelt findet.

Die gewöhnliche Phosphorſäure PO_5 bildet drei verſchiedene Natronſalze, nämlich:

$3\,NaO, PO_5$ . . . . 1)
$2\,NaOHO, PO_5$ . . . 2)
$NaO\,2HO, PO_5$ . . . 3),

von denen das zweite das gewöhnliche phosphorſaure Natron der Officinen iſt; es wurde ſonſt das neutrale genannt, während man das erſte als das baſiſche, das letzte als das ſaure bezeichnete.

In Nro. 2 iſt HO, in Nro. 3 aber $2HO$ ein weſentlicher Beſtandtheil des Salzes, es vertritt die Stelle von 1 Aequivalent Baſis, ſo daß hier alſo ſtets 1 Aeq. Säure mit 3 Aeq. Baſis verbunden iſt.

Setzt man der Löſung von Nro. 2 eine Auflöſung von eſſigſaurem Blei zu, ſo erhält man einen Niederſchlag von phosphorſaurem Bleioxyd, welches ebenfalls 3 Aeq. Baſis auf 1 Aeq Säure enthält, es iſt alſo dieſer Niederſchlag $3PbO, PO_5$.

Eine Auflöſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd fällt aus einer Löſung von Nro. 2 das dreibaſiſche phosphorſaure Silberoxyd $3AgO, PO_5$, welches durch ſeine gelbe Farbe ausgezeichnet iſt.

Dieſe Modification der Phosphorſäure, welche dadurch charakteriſirt iſt, daß ſie immer 3 Aequivalente Baſis ſättigt, wird deshalb die dreibaſiſche Phosphorſäure genannt und auch als cPhosphorſäure bezeichnet. Sind die 3 Aeq. Baſis durch 3 Aeq. Waſſer vertreten, ſo bildet dieſe Verbindung das cPhosphorſäurehydrat, das Phosphorſäureterhydrat oder das dreibaſiſche phosphorſaure Waſſer.

Wird das gewöhnliche phosphorſaure Natron $2NaOHO, PO_5$ geglüht, ſo wird ſeine Natur ganz geändert. Nach dem Wiederauflöſen liefert es Kryſtalle eines ganz anderen Salzes, welches man zuerſt pyrophosphorſaures Natron nannte. Beim Glühen iſt nämlich das Aequivalent baſiſchen Waſſers ausgetrieben worden, man hat nun ein Salz, wel-

ches auf 1 Aeq. PO_5 nur 2 Aeq. Natron enthält, das neue Salz iſt $2NaO, PO_5$.

Durch Zuſatz von eſſigſaurem Bleioxyd wird zweibaſiſches phosphorſaures Bleioxyd $2PbO, PO_5$ niedergeſchlagen, welches, durch Schwefelwaſſerſtoff zerlegt, die Löſung der zweibaſiſchen Phosphorſäure oder der bPhosphorſäure liefert.

Graham betrachtet dieſe verdünnte Säure als die Löſung des Hydrats $2HO, PO_5$, welches er das Deutohydrat der Phosphorſäure nennt.

Wird dieſe Säure mit Baſen geſättigt, ſo verbinden ſich ſtets 2 Aeq. Baſis mit 1 Aeq. Säure. Das bphosphorſaure Natron giebt bei Zuſatz von ſalpeterſaurem Silber einen weißen Niederſchlag von bphosphorſaurem Silber, $2AgO, PO_5$; während das dreibaſiſche Silberſalz, wie bereits angeführt worden, eine gelbe Farbe beſitzt.

Durch Glühen des früher unter dem Namen des ſauren phosphorſauren Natrons bekannten Salzes, $NaO2HO, PO_5$, werden die 2 Aeq. Waſſer ausgetrieben, es bleibt das einbaſiſche phosphorſaure Natron oder das aphosphorſaure Natron NaO, PO_5; durch Zuſatz von eſſigſaurem Bleioxyd oder ſalpeterſaurem Silberoxyd erhält man die entſprechenden Blei- und Silberſalze PbO, PO_5 und AgO, PO_5. Dieſe Salze zeichnen ſich durch eine gelatinöſe Beſchaffenheit aus.

Das Hydrat der einbaſigen Phosphorſäure HO, PO_5, das aPhosphorſäurehydrat oder Phosphorſäureprotohydrat zeichnet ſich von den anderen Phosphorſäurehydraten auch dadurch aus, daß es in einer Auflöſung von Eiweiß einen weißen Niederſchlag hervorbringt.

Sowohl das a- als auch das bPhosphorſäurehydrat geht bei Erwärmung ſeiner Löſung in Waſſer in die gewöhnliche Phosphorſäure über.

Wenden wir uns nun zu den Verſuchen Daniell's und Miller's über die Elektrolyſe phosphorſaurer Salze ſelbſt.

Eine ſtarke Löſung des dreibaſiſchen phosphorſauren Natrons und Waſſers $2NaOHO, PO_5$ wurde in die negative, auf die andere Seite der Doppelzelle eine verdünnte Natronlöſung gebracht. Bei Hindurchleitung des Stromes einer conſtanten Batterie von 20 Bechern wurde Sauerſtoff am poſitiven, Waſſerſtoff am negativen Pole ausgeſchieden; der Strom wurde unterbrochen, nachdem 48 Kubikzoll Waſſerſtoffgas entwickelt worden waren. Die Flüſſigkeit in der Zelle des poſitiven Pols, ſorgfältig mit Salpeterſäure geſättigt, gab mit ſalpeterſaurem Silber einen reichlichen gelben Niederſchlag, es war alſo offenbar cPhosphorſäure in die poſitive Zelle übergegangen.

Gleiches Reſultat ergab ſich, als man ſtatt des Salzes $2NaOHO, PO_5$

die Auflöſung des Salzes $3NaO, PO_5$ in die negative Zelle brachte, auch hier fand ſich nach Beendigung der Elektrolyſe dreibaſiſche Phosphorſäure in den negativen Zellen.

Als dagegen in die Abtheilung des negativen Poles eine Auflöſung des zweibaſiſchen phosphorſauren Natrons $2NaO, PO_5$ gebracht wurde, fand ſich nach Beendigung der Elektrolyſe, daß auch bPhosphorſäure in die Natronlöſung der poſitiven Zelle übergegangen war, denn die Flüſſigkeit dieſer Abtheilung gab mit Salpeterſäure neutraliſirt bei Zuſatz von ſalpeterſaurem Silber einen weißen Niederſchlag.

Endlich wurde die Löſung des monobaſiſchen phosphorſauren Natrons NaO, PO_5 unter gleichen Umſtänden elektrolyſirt, mit ſalpeterſaurem Silber gab nach Beendigung der Elektrolyſe die Flüſſigkeit des poſitiven Poles einen weißen gelatinöſen Niederſchlag, es war alſo aPhosphorſäure in die poſitive Zelle übergegangen.

Wir haben hier die merkwürdige Erſcheinung, daß derſelbe Körper PO_5 bei gleicher Zuſammenſetzung in verſchiedenen Modificationen vorkommt, die man gewöhnlich einem allotropiſchen Zuſtande zuſchreibt; PO_5 ſättigt unter Umſtänden nur 1 oder 2 oder 3 Aequivalente Baſis. Bei der Elektrolyſe der phosphorſauren Salze tritt nun die Phosphorſäure an der poſitiven Elektrode ſtets in derſelben Modification auf, in welcher ſie in der negativen Zelle im Salz enthalten war. Aus einem dreibaſiſchen Salz wandert die cPhosphorſäure, aus einem zweibaſiſchen Salz die bPhosphorſäure, aus einem einbaſiſchen Salz die aPhosphorſäure zur poſitiven Elektrode über.

Die Anſicht, welche Daniell durch ſeine Verſuche über Elektrolyſe von der Conſtitution der Salze gewonnen hat, und welche wir im Paragraph 171 kennen lernten, ſtimmt mit den eben beſprochenen Eigenthümlichkeiten und dem elektrolytiſchen Verhalten der phosphorſauren Salze ganz gut überein. Nach dieſer Theorie muß man betrachten

$3NaO, PO_5$ als $Na_3 + PO_8$ Natrium-Tritoxyphosphion,
$2NaO, PO_5$ als $Na_2 + PO_7$ Natrium-Deutoxyphosphion,
NaO, PO_5 als $Na + PO_6$ Natrium-Protoxyphosphion.

Bei der Elektrolyſe von Natrium-Tritoxyphosphion wird Na_3 an dem negativen Pol ausgeſchieden, während PO_8 zum poſitiven wandert. Indem ſich die 3 Aeq. Na oxydiren, werden am poſitiven Pole 3 Aeq. H entwickelt, während am anderen Pol 3 Aeq. H zu PO_8 treten, um $H_3 + PO_8$, das heißt das Ter- oder Tritohydrat, zu bilden, wobei denn natürlich 3 Aeq. Sauerſtoff am poſitiven Pol entweichen müſſen.

Bei der Elektrolyſe des Natrium-Deutoxyphosphions wandert PO_7 zum poſitiven Pol und entwickelt 2 Aeq. Sauerſtoff, indem es ſich mit H_2 zu $H_2 + PO_7$, d. h. zum Deutohydrat, verbindet, während am an-

deren Pol 2 Aeq. Natron gebildet und 2 Aeq. Waſſerſtoff entwickelt werden.

Bei der Elektrolyſe des monobaſiſchen Salzes wandert PO_6 zum poſitiven Pol und bildet das Protohydrat $H + PO_6$.

Elektrolyſe arſenigſaurer und ſchwefligſaurer Salze. Die engliſchen Phyſiker wandten ſich nun zur Elektrolyſe von Salzen, deren Säuren auf einer niedrigeren Oxydationsſtufe ſtehen, als die bisher betrachteten. 175

In die negative Zelle wurde eine Löſung von arſenigſaurem Kali ($KO + AsO_3$) in die poſitive Zelle Kalilöſung gebracht. Am poſitiven Pol wurde Sauerſtoff entwickelt, am negativen aber erſchien kein Waſſerſtoff, ſondern er bedeckte ſich mit metalliſchem Arſenik. Durch die Elektrolyſe war, nach Daniell's Anſicht, in der negativen Zelle K ausgeſchieden worden, welches durch ſeine Oxydation Arſenik reducirte; AsO_4 war in die poſitive Zelle gewandert, 1 Aeq. Sauerſtoff wurde frei, die zurückbleibende arſenige Säure bildete mit dem vorhandenen Kali arſenigſaures Kali.

Schwefligſaures Kali ($KO + SO_2$) in beiden Zellen gab Waſſerſtoff an der negativen, aber kein Sauerſtoff an der poſitiven Polplatte, dagegen bildete ſich Schwefelſäure in der poſitiven Zelle, welche durch ihre Einwirkung auf das ſchwefligſaure Salz auch etwas ſchweflige Säure entwickelte. Durch den Strom wurde auf der einen Seite K ausgeſchieden und durch deſſen Oxydation Waſſerſtoff entwickelt; $SO_2 + O$, welches Daniell als Suboxyſulphion bezeichnet, wanderte nach der anderen Seite und trat dort als SO_3 auf.

Unterſchwefligſaures Natron ($NaO + S_2O_2$) gab einen ähnlichen Erfolg. Am negativen Pol entwickelten ſich Waſſerſtoff, am poſitiven kein Gas, doch machte ſich hier ein ſtarker Geruch nach ſchwefliger Säure geltend, welcher von einer allmäligen Ablagerung von Schwefel begleitet war. $S_2O_2 + O$ wandert nach dem poſitiven Pol, zerfällt in $S + SO_3$, und durch die Einwirkung der Schwefelſäure auf das umgebende Salz wird ſchweflige Säure entwickelt.

Die Verſuche über die Elektrolyſe des gelben und rothen Cyaneiſenkaliums können wir hier nicht näher beſprechen.

Ueberführung der Baſen. Bei der Elektrolyſe der phosphorſauren Salze war die Säure in die poſitive mit Natronlöſung gefüllte Zelle übergeführt worden. Daniell wollte nun verſuchen, umgekehrt, aus der poſitiven Zelle die Baſen in die mit Säure gefüllte negative Zelle überzuführen. 176

Bei Anwendung einer Löſung von ſchwefelſaurem Kupferoxyd-Kali $CuO.SO_3 + KO.SO_3$ wurden nur Spuren von Kupfer in die negative Zelle übergeführt und an dem negativen Pole abgelagert, dagegen ergab ſich nach Unterbrechung des Verſuchs, daß im Vergleich zu den entwickelten Gaſen ¼ Aeq. Kali in die negative Zelle übergetreten war.

Eine Löſung von ſchwefelſaurem Thonerde-Kali (Alaun, $Al_2O_3.3SO_3 + KO.SO_3$) gab ähnliche Reſultate, es war Kali in demſelben Verhältniß, wie im vorigen Verſuch, zur negativen Zelle übergangen, aber keine Thonerde.

Aus einer Löſung von ſchwefelſaurem Bittererde-Kali ($MgO.SO_3 + KO.SO_3$) war ebenfalls nur Kali nebſt einer ſehr unbedeutenden Menge von Bittererde übergegangen.

Statt der Doppelſalze wurden nun der Reihe nach die Löſung von ſchwefelſaurer Thonerde ($Al_2O_3.3SO_3$), ſchwefelſaurem Eiſenoxyd ($Fe_2O_3.3SO_3$) und Kupfervitriol ($CuO.SO_3$) in die poſitive Zelle, in die negative aber verdünnte Schwefelſäure gebracht. Weder Thonerde, noch Eiſenoxyd, noch Kupferoxyd gingen in merklicher Menge in die negative Zelle über.

Beide Zellen wurden mit einer Löſung von Kupfervitriol gefüllt. Am negativen Pol ſchlug ſich Kupfer nieder, die Löſung wurde an Kupfer ärmer; in die andere Zelle war 1 Aeq. Schwefelſäure übergegangen, aber der Kupfergehalt unverändert geblieben; es war alſo kein Kupfer von der poſitiven Zelle in die negative übergegangen.

Zinkvitriol verhielt ſich eben ſo.

Dieſe Erſcheinung iſt aber nicht etwa dem Einfluß der Scheidewand zuzuſchreiben. Als ein langes Rohr mit aufrechten Schenkeln mit Kupfervitriollöſung gefüllt wurde und an den Enden zwei Kupferſtreifen als Elektroden eingetaucht wurden, ward die Flüſſigkeit im negativen Schenkel heller, im poſitiven aber dunkler.

Sonach, ſagt Daniell, ſcheint es feſtgeſtellt, daß bei der Elektrolyſe derjenigen Metalle, welche bei gewöhnlicher Temperatur das Waſſer zerſetzen oder deren Oxyde ſehr löslich im Waſſer ſind, der Fortführung in der Volta'ſchen Kette vom poſitiven zum negativen Pol fähig ſind, während diejenigen, welche keine ſo ſtarke Verwandtſchaft zum Sauerſtoff beſitzen, ihren Ort behaupten.

Bei unbefangener Betrachtung des Umſtandes, daß gewiſſe Baſen bei der Elektrolyſe der Löſungen ihre Salze nicht nach dem negativen Pol hin wandern, drängt ſich ſogleich die Anſicht auf, daß in dieſem Fall nicht das Salz direct elektrolyſirt werde und den Strom leite, ſondern daß ſeine Zerlegung nur eine ſecundäre Erſcheinung ſey. Wenn an der nega-

tiven Polplatte aus einer Löſung von Kupfervitriol metalliſches Kupfer niedergeſchlagen wird, ohne daß Kupfer von der anderen Seite herüberwandert, während doch 1 Aeq. Schwefelſäure zum poſitiven Pol geht, ſo läßt ſich dies kaum anders erklären, als daß direct SO_4H elektrolyſirt werde; H wandert zum negativen Pol und reducirt dort 1 Aeq. Kupfer, SO_4 geht zum poſitiven, entwickelt 1 Aeq. O mit Zurücklaſſung von 1 Aequivalent SO_3. Das ſtimmt nun freilich nicht mit den Daniell'ſchen Anſichten überein, welche wir ſchon im Paragraph kennen lernten, die jedoch auf alle Fälle anwendbar iſt, wo die Baſis des zerlegten Salzes ebenfalls eine Ueberführung erleidet, wie z. B. bei der Elektrolyſe von $KO + SO_3$.

Becquerel's Unterſuchungen über die Geſetze der elektrochemiſchen Zerſetzung. Auch der jüngere Becquerel hat intereſſante Unterſuchungen über die Geſetze der Elektrolyſe angeſtellt (Ann. de chim. et de phys. Sér. III, T. XI, p. 162 und 257, im Auszug in Pogg. Ann. LXV, 461). Faraday hatte den Grundſatz aufgeſtellt, daß unter den verſchiedenen Verbindungen, die zwei Elemente mit einander eingehen können, nur diejenigen durch den Strom zerſetzt werden, die aus gleich viel Aequivalenten von jedem beſtehen. 177

Schon Matteucci hat es wahrſcheinlich gemacht (Bibl. univers. Sér. nouv. T. XXI, p. 153), daß dieſer Satz nicht allgemein gültig ſey, und Becquerel hat es durch zahlreiche Verſuche außer Zweifel geſetzt.

Zunächſt unterſuchte Becquerel mehrere Chlormetalle, und zwar bald in geſchmolzenem Zuſtande, bald als geſättigte wäſſerige Löſung. Bei Anwendung der geſchmolzenen Chlormetalle wirkt beſonders der Umſtand auf die Genauigkeit des Reſultates ſtörend ein, daß das am poſitiven Pol ausgeſchiedene Chlor, in der Flüſſigkeit ſich verbreitend, das am negativen Pol niedergeſchlagene Metall theilweiſe wieder auflöſte, ſo daß man immer etwas zu wenig Metall erhielt. Deshalb wandte Becquerel meiſt die Chlormetalle, in einer ſchicklichen Flüſſigkeit gelöſt, an, nachdem er ſich überzeugt hatte, daß aus ihnen ſtets gleich viel Metall niedergeſchlagen wird, wie aus der geſchmolzenen Chlorverbindung, und daß auch bei dieſen Löſungen nur das Chlormetall, nicht das Waſſer elektrolyſirt werde, denn es entwickelte ſich am poſitiven Pol ſtets Chlor und nicht Sauerſtoff, wie es hätte der Fall ſeyn müſſen, wenn auch nur theilweiſe das Waſſer wäre elektrolyſirt worden.

Die zu unterſuchende Löſung befand ſich in zwei durch einen Heber verbundenen Gefäßen, deren jedes eine Elektrode aufnahm. Die negative Elektrode war gewöhnlich von Platin, die poſitive bald von dieſem bald von jenem Metall.

War die Löſung von der Art, daß ſie durch die Luft eine Zerſetzung erlitt, ſo ſtand ſie unter einer Glocke mit Hahn, die ausgepumpt oder mit einem unſchädlichen Gas gefüllt werden konnte.

Außer dieſem Zerſetzungsapparat war ein Voltometer in die Bahn des Stromes eingeſchaltet, der gewöhnlich durch eine Batterie von 30 ſchwach geladenen Elementen hervorgebracht war.

Folgende Tabelle giebt die Reſultate einer erſten Verſuchsreihe.

	Gelöſt in	Zerſetztes Waſſer Milligramm	Gefälltes Metall	
			berechnet	gefunden
			Milligramm	
Zinnchlorür . . $SnCl$	Waſſer	3,81	24,9	25,0
Chlorſilber . . $AgCl$	Ammoniak	1,29	15,5	16,5
Eiſenchlorür . . $FeCl$	Waſſer	1,5	4,6	5,0
Kupferchlorür . . Cu_2Cl	Salzſäure	1,93	6,78	13,5
Antimonchlorid . Sb_2Cl_3	desgl.	11,0	78,8	51,5
desgl. 2ter Verſuch . .	desgl.	1,29	9,2	6,0

Die dritte Columne giebt die Quantität des im Voltameter zerſetzten Waſſers an, in der vierten Columne findet man, wie viel Metall an der negativen Elektrode des Zerſetzungsapparates hätte niedergeſchlagen werden müſſen, wenn für jedes Aequivalent im Voltameter zerſetzten Waſſers hier 1 Aeq. Metall ausgeſchieden würde; die fünfte Columne endlich giebt die wirklich niedergeſchlagenen Metallmengen an.

In den drei erſten Fällen wurde wirklich für 1 Aeq. Waſſer, welches im Voltameter zerſetzt wurde, auch 1 Aeq. Metall an der negativen Polplatte des Zerſetzungsapparates niedergeſchlagen; in allen den drei Fällen beſtanden aber auch die elektrolyſirten Chlormetalle aus 1 Aeq. Metall auf 1 Aeq. Chlor.

Das Kupferchlorür enthält 2 Aeq. Kupfer auf 1 Aeq. Chlor, und in dieſem Falle wurden auch im Vergleich zu dem im Voltameter zerſetzten Waſſer 2 Aeq. Kupfer im Zerſetzungsapparat niedergeſchlagen.

Aus dem Antimonchlorid wurden nur $^2/_3$ Aequivalent Antimon entwickelt, und in der That enthält es auch nur $^2/_3$ Aeq. Metall auf 1 Aequivalent Chlor.

Berechnet man die zum poſitiven Pol des Zerſetzungsapparates ge-

führte Menge Chlor, ſo ergiebt ſich, daß gegen jedes Aequivalent zerſetzten Waſſers auch 1 Aeq. Chlor entwickelt wurde.

Dieſes Geſetz erhielt eine fernere Beſtätigung durch eine weitere Verſuchsreihe, in welcher nicht das gefällte Metall, ſondern das ausgeſchiedene Chlor beſtimmt ward, und zwar durch den Verluſt, welchen die aus Kupfer beſtehende Elektrode erlitt. Auf dieſe Weiſe wurde verfahren mit

Kupferchlorid . .	$CuCl$
Eiſenchlorid . . .	Fe_2Cl_3
Zinnchlorid . . .	$SnCl_2$
Antimonhyperchlorid	Sb_2Cl_5.

Das in der Vorausſetzung einer Aequivalenz mit dem Waſſer berechnete Chlor ſtimmt hier in allen Fällen mit dem beobachteten überein, obgleich nur eine dieſer Verbindungen, nämlich $CuCl$, zu gleichen Aequivalenten aus den Beſtandtheilen zuſammengeſetzt iſt.

Jod- und Brommetalle führten zu demſelben Reſultat.

Auch mit Oxyden ſtellte Becquerel Verſuche an. Er löſte Kupferoxydul Cu_2O und Kupferoxyd CuO, jedes für ſich, in Ammoniakflüſſigkeit und verſchloß die Flaſche luftdicht mittelſt eines Korkes, welcher die Drähte der Elektroden hindurch ließ. Zugleich mit einer dieſer Löſungen war in den Kreis der Kette, die nur aus einem conſtanten Zinkkupfer-Element beſtand, eine Löſung von ſalpeterſaurem Kupferoxyd eingeſchaltet, die als Voltameter diente. Dieſe Verſuche, deren jeder mehrere Stunden dauerte, gaben das Reſultat, daß auf 1 Aeq. Kupfer, welches ſich an der negativen Polplatte des mit ſalpeterſaurem Kupferoxyd gefüllten Voltameters ausſchied,

2 Aeq. Kupfer aus der Löſung von Cu_2O
1 » » » » » » CuO

niedergeſchlagen wurde.

Die letzte binäre Verbindung, welche Becquerel unterſuchte, war das oxydirte Waſſer HO_2. Auf jedes Aequivalent Waſſer, welches in dem gleichzeitig in den Strom eingeſchalteten Voltameter zerſetzt wurde, wurden 2 Aeq. Sauerſtoff aus dem oxydirten Waſſer am poſitiven Pole frei.

Die Unterſuchung der Elektrolyſe verſchiedener Salzlöſungen führte im Weſentlichen zu ähnlichen Reſultaten, wie wir ſie ſchon aus den Arbeiten von Daniell kennen lernten.

Der von Faraday aufgeſtellte Satz, daß binäre Verbindungen nur dann Elektrolyte ſind, wenn ſie aus gleichen Aequivalenten beider Beſtandtheile zuſammengeſetzt ſind, hat ſich demnach als unhaltbar erwieſen, indem viele Körper direct durch den Strom zerlegbar ſind, welche dieſer Bedingung nicht entſprechen.

In Beziehung auf die Quantität der Zerſetzung kann man das Reſultat der Becquerel'ſchen Unterſuchung am beſten ſo ausdrücken, wie es Poggendorff in einer Anmerkung zum Becquerel'ſchen Aufſatz formulirt hat: daß bei Gleichheit der Stromſtärke für jedes Aequivalent Waſſer auch ein Aequivalent irgend welcher Verbindung zerſetzt wird, ſobald dieſelbe überhaupt zerſetzbar iſt.

178 **Bildung von Chlorſtickſtoff durch Elektrolyſe.** Wenn man eine geſättigte Auflöſung von Salmiak zwiſchen Platinelektroden dem galvaniſchen Strom ausſetzt, ſo entwickelt ſich am negativen Pol Waſſerſtoffgas; am poſitiven Pol aber kein Chlor, und wenn die Löſung concentrirt genug iſt, auch kein Sauerſtoffgas; dagegen bedeckt ſich die poſitive Platinplatte mit kleinen gelblichen öligen Tropfen von Chlorſtickſtoff.

Gießt man auf die Löſung eine Schicht Terpentinöl, ſo explodiren die aufſteigenden Tröpfchen, ſobald ſie mit dem Terpentinöl in Berührung kommen, unter Knall und Lichterſcheinung. — Es iſt zweckmäßig, die poſitive Polplatte nicht vertical, ſondern geneigt in die Flüſſigkeit zu ſtellen.

Dieſe intereſſante Erſcheinung iſt, ohne daß einer vom andern etwas wußte, faſt gleichzeitig von Kolbe, welcher ſich damals in England aufhielt, und von Böttger in Frankfurt entdeckt worden. Kolbe beſchreibt die Bildung von Chlorſtickſtoff durch die Elektrolyſe einer geſättigten Salmiaklöſung im Philos. Magaz. XXX, Seite 336. Böttger, welcher meines Wiſſens darüber nichts publicirt hat, zeigte den Verſuch im Gießener Laboratorium.

Die Bildung des Chlorſtickſtoffs iſt offenbar eine ſecundäre Wirkung. Betrachten wir den Salmiak als Chlorammonium H_4NCl, ſo wird dieſer Körper ſo zerlegt, daß Cl an den poſitiven, H_4N an den negativen Pol tritt. Aus H_4N entwickelt ſich 1 Aeq. Waſſerſtoff, welcher gasförmig entweicht unter Zurücklaſſung von H_3N, während das am poſitiven Pol nascirende Chlor das Chlorammonium unter Bildung von Chlorſtickſtoff und Salzſäure zerſetzt. Wenn nämlich zu Chlorammonium H_4NCl 6 Aeq. Chlor, alſo 6 Cl hinzutreten, ſo bildet ſich 4 HCl (4 Aeq. Salzſäure) und Chlorſtickſtoff, NCl_3.

179 **Oxydationswirkungen des am poſitiven Pol der Kette ausgeſchiedenen Sauerſtoffs.** Der Sauerſtoff, welcher durch den galvaniſchen Strom an der poſitiven Polplatte ausgeſchieden wird, hat im Augenblicke ſeiner Entſtehung ſehr ſtark oxydirende Eigenſchaften, ſo daß er Verbindungen bildet, welche der freie Sauerſtoff ſonſt nicht direct eingeht. Kolbe hat über dieſen Gegenſtand intereſſante und wichtige Verſuche angeſtellt.

Eine geſättigte wäſſerige Löſung von Chlorkalium wird durch den Strom einer aus 4 Bunſen'ſchen Bechern gebildeten Säule zwiſchen Platinelektroden in der Weiſe zerſetzt, daß ſich zuerſt Chlorgas am poſitiven, Waſſerſtoff am negativen Pol ausſcheidet und freies Kali gebildet wird, wovon die Flüſſigkeit eine alkaliſche Reaction annimmt. In dem Maaße, als bei fortſchreitender Zerſetzung die Flüſſigkeit an Chlorkalium ärmer wird, erſtreckt ſich die Elektrolyſe zugleich auch auf das Waſſer, indem am poſitiven Pol neben dem Chlor gleichzeitig Sauerſtoff frei wird, welcher zum Theil gasförmig entweicht, zum Theil ſich chemiſch mit dem Chlor erſt zu unterchloriger Säure (ClO), zuletzt zu Chlorſäure (ClO_5) verbindet, die in der alkaliſchen Löſung ſich an Kali gebunden finden.

Die Bildung des chlorſauren Kali's kann unter dieſen Umſtänden allerdings als das Reſultat der Einwirkung des Chlors auf das freie Kali betrachtet werden.

Der nämliche Zerſetzungsproceß findet aber auch ſtatt, wenn man der Löſung des Chlorkaliums ſelbſt noch mehr Schwefelſäure zuſetzt, als dem Aequivalent des Kaliums entſpricht, ſo daß kein freies Alkali auftreten kann, mit dem einzigen Unterſchiede, daß ſich dabei überchlorſaures Kali ($KO.ClO_7$) bildet, welches beim Erkalten aus der ſich erhitzenden Flüſſigkeit gewöhnlich herauskryſtalliſirt.

Endlich liefert auch reine Salzſäure, beſonders wenn ihr ein paar Tropfen Schwefelſäure zugeſetzt ſind, ein Gemenge von freier Chlorſäure und Ueberchlorſäure, während gleichzeitig freies Chlorgas am + Pol und Waſſerſtoff am — Pol in Maſſe entweichen. Hieraus geht hervor, daß ſich Chlor und Sauerſtoff im status nascens auch ohne Gegenwart von freiem Alkali direct mit einander vereinigen, während man bisher gewohnt war, die ſogenannte prädisponirende Verwandtſchaft als weſentliche Bedingung zu ihrer Bildung (beim Durchleiten von Chlor durch Kalilauge) anzuſehen.

Cyankaliumlöſung wird unter den obigen Verhältniſſen leicht oxydirt und liefert cyanſaures Kali ($KO.CyO$). Eine der Chlorſäure oder Ueberchlorſäure entſprechende höhere Oxydationsſtufe des Cyans konnte Kolbe bei fortgeſetzter Elektrolyſe des cyanſauren Kali's nicht erhalten. Ebenſo wenig lieferte eine Löſung von Fluorkalium eine Sauerſtoffverbindung des Fluors.

Mittelſt des Stromes iſt es Kolbe auch gelungen, aus der Chlorkohlenunterſchwefelſäure, $HO+C_2Cl_3S_2O_5$ (Liebig's Annalen, Bd. 54, S. 157; Philos. Magaz. XXX. 334.) Oxydationsproducte zu erhalten, während dieſe Säure ſonſt den kräftigſten Oxydationsmitteln widerſteht,

indem ſie mit Chromſäure, Salpeterſäure u. ſ. w. gekocht, keine Veränderung erleidet.

Wenn eine concentrirte Auflöſung von chlorkohlenunterſchwefelſaurem Kali zwiſchen Platinelektroden dem Strom einer Bunſen'ſchen Säule von 4 Bechern ausgeſetzt wird, ſo beobachtet man anfangs am negativen Pole keine Entwickelung von Waſſerſtoffgas, während Chlor, Kohlenſäure und ſpäter auch Sauerſtoff am poſitiven Pole aufſteigen.

Sobald die Zerſetzung beginnt, wird eine ſaure Reaction in der Flüſſigkeit bemerklich, welche von der Bildung freier Salzſäure und Schwefelſäure herrührt. In einer ſpäteren Periode, wenn dieſe Säuren an Menge zugenommen haben, erſcheint Waſſerſtoff am negativen Pole, während endlich, nachdem alle Salzſäure zerſetzt iſt und die Chlorentwickelung aufgehört hat, überchlorſaures Kali in kleinen octaedriſchen Kryſtallen ſich aus der Flüſſigkeit ausſcheidet, welche noch freie Schwefelſäure und doppeltſchwefelſaures Kali enthält.

Dieſe Reſultate erklären ſich nun folgendermaßen. Der Sauerſtoff, welcher in Folge der Waſſerzerſetzung am poſitiven Pole frei wird, tritt an die Säure und bewirkt, daß ſie in verſchiedene Verbindungen zerfällt. Die Oxydation der Säure iſt vollendet, wenn ſie 12 Aequivalente Sauerſtoff aufgenommen hat, in dieſem Falle aber erklärt ſich ihr Zerfallen in folgender Weiſe:

$$KO + C_2Cl_3S_2O_5 \left\{ \begin{array}{l} KO + ClO_7 \\ 2\,SO_3 \\ 2\,CO_2 \\ 2\,Cl. \end{array} \right. \quad 12\,O$$

Es bildet ſich alſo überchlorſaures Kali, Schwefelſäure, Kohlenſäure und freies Chlor. Die Bildung der Ueberchlorſäure findet jedoch nicht gleich zu Anfang der Elektrolyſe ſtatt, indem Anfangs nur Chlorſäure entſteht. Dampft man bei einem früheren Stadium der Zerſetzung, bevor noch die octaedriſchen Kryſtalle des überchlorſauren Kalis auszukryſtalliſiren anfangen, die Flüſſigkeit ein, ſo erhält man die wohlbekannten rhombiſchen Tafeln des chlorſauren Kalis.

Während der am poſitiven Pol entwickelte Sauerſtoff dieſe Oxydationswirkungen hervorbringt, entweicht aber auch am negativen Pol kein Gas, indem der hier auftretende Waſſerſtoff ebenfalls mehrere Verbindungen eingeht. Ein Theil dieſes Waſſerſtoffs ſubſtituirt nämlich 1 oder 2 Aequivalente Chlor und bildet die Säuren $HO + \left(C_2 \left\{ \begin{array}{l} H \\ Cl_2 \end{array} \right.\right) S_2O_5$, Chlorformylunterſchwefelſäure, und $HO + \left(C_2 \left\{ \begin{array}{l} H_2 \\ Cl \end{array} \right.\right) S_2O_5$, Chlorelaylunterſchwefelſäure, zwei Säuren, welche Kolbe gleichfalls im 54. Bande von Liebig's Annalen näher beſpricht; ein anderer Theil des Waſſerſtoffs verbindet ſich mit dem ausgeſchiedenen Chlor zu Salz-

ſäure. Dieſe Säuren werden aber am poſitiven Pole gleichfalls oxydirt, und ſo geht dieſer Oxydationsproceß fort, bis alles Chlor der Flüſſigkeit theils in Ueberchlorſäure verwandelt theils entwichen iſt.

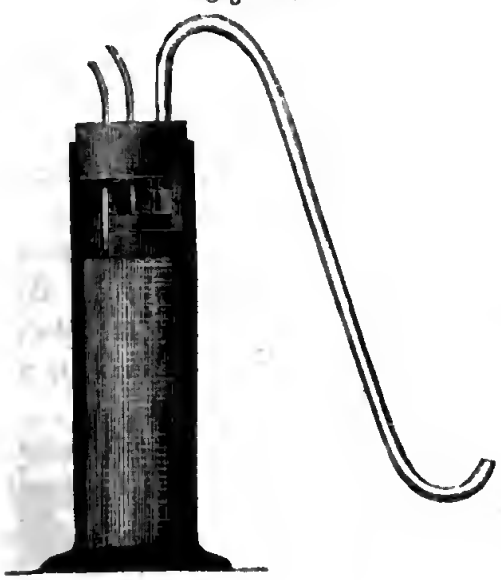
Die eben beſprochenen Zerſetzungserſcheinungen laſſen ſich nun durch die Annahme erklären, daß die Waſſerzerſetzung die primäre, die Oxydation der Säure die ſecundäre Wirkung ſey. Die Daniell'ſche Theorie über die Elektrolyſe der Salzlöſungen iſt hier durchaus unanwendbar. Nach dieſer Theorie müßte man das Salz betrachten als $K + (C_2Cl_3)\,S_2O_6$: die am poſitiven Pole ausgeſchiedene ſaure Verbindung müßte zerfallen in 2 Aequivalente Schwefelſäure und in das unlösliche Kohlenſesquichlorid C_2Cl_3. — Die Oxydation des Chlors erfordert durchaus die Annahme einer primären Waſſerzerſetzung.

Elektrolyſe der Valerianſäure und der Eſſigſäure. Kolbe hat 180
dadurch, daß er organiſche Subſtanzen der Elektrolyſe unterwarf und den Gang der Zerſetzungen genau verfolgte, einen Weg betreten, welcher für die Wiſſenſchaft von großer Bedeutung zu werden verſpricht. Wir wollen hier die Unterſuchungen Kolbe's ſo weit verfolgen, als es zur Erkenntniß der elektrolytiſchen Seite der Erſcheinungen nöthig iſt, ohne jedoch auf die Discuſſionen über die Conſtitution der unterſuchten organiſchen Subſtanzen uns einzulaſſen.

Die ausführliche Abhandlung, in welcher Kolbe die Elektrolyſe organiſcher Verbindungen behandelt, findet ſich in den Annalen der Chemie und Pharmacie, Band LXIX. Seite 257.

Da die freie Valerianſäure den galvaniſchen Strom ſchlecht leitet, ſo bediente ſich Kolbe zur elektrolytiſchen Zerſetzung derſelben einer concentrirten wäſſerigen Löſung ihres Kaliſalzes. Der Zerſetzungsapparat war ungefähr ſo eingerichtet, wie der Fig. 158 abgebildete. Der Glascylinder war ungefähr 11 Zoll hoch und 2½ Zoll weit. Der äußere Metallcylinder iſt von Kupfer-, der innere von Platinblech. Der Kupfercylinder wurde mit dem negativen, der Platincylinder mit dem poſitiven Pol einer aus 4 Bunſen'ſchen Bechern beſtehenden Säule verbunden.

Fig. 158.



Wenn dieſer Apparat mit einer Löſung von valerianſaurem Kali, $KO + (C_8H_9)C_2O_3$, gefüllt iſt und der Strom in der angedeuteten Weiſe durch die Flüſſigkeit hindurchgeht, ſo findet an beiden Polen eine lebhafte Gasentwickelung ſtatt, und gleichzeitig ſcheiden ſich auf der Oberfläche der Flüſſigkeit leichte, in der Regel ſchwach gelblich gefärbte, ölartige Tropfen von angenehmem ätheriſchen Geruche ab. Die entweichenden ſtark riechenden Gaſe enthalten, nachdem alle atmoſphäriſche Luft aus dem Apparate verdrängt iſt, keine Spur von Sauerſtoff. Das Gasgemiſch beſteht aus Waſſerſtoff, Kohlenſäure und einem dritten Gaſe, welches mit ſtark leuchtender Flamme brennt und dem Gemiſch den eigenthümlichen Geruch verleiht.

Nach Stunden lang fortgeſetzter Einwirkung des Stromes iſt die auf der Flüſſigkeit ſich anſammelnde Oelſchicht bis zu einer Höhe von mehreren Linien angewachſen und das valerianſaure Kali zum größten Theil in ein Gemenge von einfach- und zweifachkohlenſaurem Kali verwandelt, welches letztere gewöhnlich am Ende der Zerſetzung theilweiſe herauskryſtalliſirt. Um zu erfahren, an welchem Pole jedes dieſer Producte auftritt, brachte Kolbe die Platinplatte in eine poröſe Thonzelle, die oben luftdicht geſchloſſen und mit einem Gasentbindungsrohre verſehen war. Dieſe Zelle, mit valerianſaurem Kali gefüllt, wurde in ein gleichfalls eine Löſung dieſes Salzes enthaltendes Glasgefäß geſetzt, in welchem ſich der als negativer Pol dienende Kupfercylinder befand. Es ergab ſich auf dieſe Weiſe, daß von den genannten Zerſetzungsproducten außer freiem Kali nur Waſſerſtoff auftrat, während alle übrigen Producte, das ätheriſche Oel, die Kohlenſäure und die riechende Gasart neben freier Säure (die Anordnung des Apparates verhinderte die Bildung von kohlenſaurem Kali) am poſitiven Pole erſchienen.

Kolbe ging nun zu einer gründlichen Unterſuchung der einzelnen Zerſetzungsproducte über. Zuerſt behandelte er die ölartige Flüſſigkeit. Es zeigte ſich bald, daß das rohe Oel kein reiner Körper iſt. Durch ein Verfahren, welches hier nicht näher beſchrieben werden kann, ermittelte er, daß das rohe Oel ein Gemiſch aus zwei verſchiedenen Körpern iſt. Das gereinigte Oel, welches dem Volumen nach ungefähr die Hälfte des rohen ausmacht, bildet eine klare, farbloſe Flüſſigkeit von ſehr angenehmem ätherartigen Geruch, und fadem hintennach brennendem Geſchmack. Es iſt in Alkohol und Aether, aber nicht in Waſſer löslich, ſiedet bei 108°, iſt ſehr entzündlich und hat ein auffallend niedriges ſpecifiſches Gewicht, nämlich 0,694.

Die chemiſche Formel dieſes Körpers, welchen Kolbe Valyl nennt, iſt C_8H_9, d. h. er beſteht aus 8 Aequivalenten Kohlenſtoff und 9 Aequivalenten Waſſerſtoff.

Das rohe Oel iſt Valyl, verunreinigt durch valerianſaures Valyloxyd, alſo Valyl gemiſcht mit $C_8H_9O + (C_8H_9)C_2O_3$.

Das riechende Gas, welches mit der Kohlenſäure entweicht, iſt ebenfalls ein Kohlenwaſſerſtoff und zwar C_8H_8, alſo gleich zuſammengeſetzt mit dem ölbildenden Gas, mit dem es in ſeinem Verhalten gegen Chlor viele Aehnlichkeit hat, aber von doppelt ſo großem ſpecifiſchen Gewichte.

Der ganze Hergang dieſer Zerſetzungen läßt ſich nun leicht überſehen. Durch den in Folge der Elektrolyſe am poſitiven Pole entwickelten Sauerſtoff wird die Valerianſäure $(C_8H_9)C_2O_3$ oxydirt und zerfällt in Valyl C_8H_9 und Kohlenſäure C_2O_4, oder vielmehr allein das Valyl ſelbſt unterliegt wieder einer theilweiſen Oxydation, es bildet ſich Valyloxyd C_8H_9O, welches mit Valerianſäure ſich verbindet und, mit dem übrigen bleibenden Valyl gemiſcht, das rohe Oel bildet. Außerdem macht ſich noch ein ſecundärer Oxydationsproceß des Valyls dadurch geltend, daß der nascirende Sauerſtoff ihm 1 Aequivalent Waſſerſtoff entzieht, um mit demſelben Waſſer zu bilden, wodurch denn der dem ölbildenden Gaſe homologe Körper C_8H_8 entſteht, welcher mit der Kohlenſäure am +Pol entweicht.

Ganz analoge Zerſetzungen erleidet die Eſſigſäure durch den Einfluß des galvaniſchen Stromes. Da die Eſſigſäure zu ſchlecht leitet, ſo unterwarf Kolbe gleichfalls das Kaliſalz derſelben der Unterſuchung. Die Eſſigſäure $(C_2H_3)C_2O_3$ erleidet ganz in der Art, wie wir es bei der Valerianſäure geſehen haben, am +Pol eine Oxydation, in Folge deren ſie in Methyl, C_2H_3, und Kohlenſäure, C_2O_4, oder vielmehr $2CO_2$ zerfällt, welche Körper beide am +Pol gasförmig entweichen, während das Waſſerſtoffäquivalent, welches dem am poſitiven Pol oxydirenden Sauerſtoff entſpricht, am —Pol aufſteigt. Denken wir uns die reine Eſſigſäure mit 1 Aequivalent Waſſer verbunden, ſo erklärt ſich der Hergang durch die Elektrolyſe des Waſſeräquivalentes und die daraus erfolgende Oxydation der Säure ganz einfach durch folgende Gleichung:

$$HO + (C_2H_3)C_2O_3 = \begin{cases} H \ldots . \text{ 2 Volum} \\ C_2H_3 \text{ 2 Volum} \\ 2CO_2 \text{ 4 Volum.} \end{cases}$$

Die Unterſuchung der aufgefangenen Gaſe zeigt aber, daß im Vergleich zu dem Methylgas mehr Waſſerſtoff und mehr Kohlenſäure in dem Gasgemenge enthalten iſt. Dieſe Abweichung läßt ſich aber auch leicht erklären.

So wie es die obige Gleichung andeutet, würde der Vorgang ſeyn, wenn nur das eine Waſſeräquivalent elektrolyſirt würde; allein die Elektrolyſe erſtreckt ſich auch noch auf einen andern Theil des Waſſers der Löſung, dadurch wird einerſeits die Menge des Waſſerſtoffs vermehrt, andererſeits ein Theil des Methylgaſes zu Kohlenſäure und Waſſer oxydirt, ſo daß alſo auch verhältnißmäßig mehr Kohle gebildet wird. Auch enthält das Methylgas ſtets eine geringe Beimengung von Methyloxyd.

181 **Galvanoplaſtik.** Nachdem bereits im September 1836 de la Rive (Philosophical Magazine, Dingler, 105. Bd.) darauf aufmerkſam gemacht hatte, daß das in der Daniell'ſchen Kette niedergeſchlagene Kupfer von dem Kupfer der Kette ablösbar und ein mikroſkopiſch genauer Abdruck deſſelben ſey, ſo kamen Jakobi und Spencer, wie es ſcheint, faſt gleichzeitig auf den Gedanken, dieſes praktiſch nutzbar zu machen, was denn auch bekanntlich den entſchiedenſten Erfolg hatte.

Jakobi ſetzte wirklich zuerſt 1839 eine Daniell'ſche Kette zuſammen, in welcher eine gravirte Kupferplatte angewendet wurde, machte jedoch ſogleich auch Verſuche in einer abgeſonderten Zerſetzungszelle, wo er als Anode der geſtochenen Kupferplatte eine andere gegenüber anbrachte, wodurch er die Kupfervitriollöſung ſtets geſättigt erhielt *). Er fand auch ſogleich, daß etwas angeſäuerte Kupfervitriollöſung wirkſamer ſey, und daß ſich das Kupfer pulverig ausſcheide, wenn der Strom zu ſtark werde; er bemerkte, es dürfe im Allgemeinen nicht über 50—60 Gran Kupfer pro Quadratzoll in 24 Stunden reducirt werden, wenn es compact werden ſoll. Zur beſſern Beurtheilung der Stromſtärke ſchaltete er eine ganz einfache Buſſole ein. Jakobi gab bald darauf eine eigene Schrift hierüber heraus unter dem Titel: »die Galvanoplaſtik«, Petersburg 1840. Spencer's Verſuche (Dingler's Journal, 75. Bd. 1840, und Mechanics Magazine Nr. 846) gehen nach ſeiner Angabe bis in das Jahr 1837 zurück; er wendete keine abgeſonderte Zerſetzungszelle an, ſondern eine Daniell'ſche Kette wie Jakobi, und zwar mit einer Scheidewand von Gyps, ſtatt deſſen man auch unglaſirten Thon nimmt, Kochſalz beim Zink. Die Scheidewand ging vertical durch einen Trog von entſprechenden Dimenſionen und bildete ſo die zwei Zellen. Daß das Zink nicht amalgamirt ſeyn dürfe und ſeine Dicke mit der Dicke der verlangten Kupferſchichte in einem gewiſſen — aber nicht angegebenen — Verhältniſſe ſtehen müſſe, wie Spencer anfänglich angab, hat ſich ſpäter auf keine Weiſe beſtätigt. Spencer wollte anfänglich auf eine dickgefirnißte Platte radiren, die radirten Züge galvanoplaſtiſch ausfüllen, in der Hoffnung, ſie würden feſt auf der Unterlage von Kupfer haften und dann zum Abdruck wie Holzſtiche verwendet werden können; er erreichte jedoch hierin keinerlei Reſultate von praktiſchem Erfolge. Anfänglich hielt das niedergeſchlagene Kupfer nicht auf der Platte, bis er dieſe mit Salpeterſäure anätzte. Uebrigens hatte er die Sache ſogleich bei der erſten Publication bereits nach allen Richtungen verfolgt. So formte er geſtochene Kupferplatten galvaniſch ab oder preßte ſie in Blei ab, um ſie als Modell für weitere galvanoplaſtiſche

*) Die in §. 176 angeführte Erſcheinung, daß das Kupfer nicht zum negativen Pol wandert, wirkt hier nicht ſtörend, da die Platten immer nur geringe Entfernung haben und die Anode ſich gewöhnlich über der Kathode befindet.

Abzüge zu benutzen, wobei er die geſtochene Platte warm mit Wachs überzog und dieſes wieder ſorgfältig abwiſchte, um das Zuſammenwachſen zu verhüten; ebenſo machte er Formen aus Gyps und Thon, die er zuerſt mit Leinölfirniß, und nach deſſen Abtrocknen mit Maſtixfirniß überzog und zuletzt mit Broncepulver überpuderte oder mit Blattgold auslegte; ſolche Formen wurden durch einen mit Firniß oder Siegellack überzogenen Kupferdraht mit der Zinkplatte verbunden.

Die urſprüngliche Idee Spencer's, erhabene Typen zum Drucke zu erhalten, änderte ſpäter (Patent vom Jahre 1841 [Dingler's Journal, 95. Bd.]) von Kobell in München dahin ab, daß er eine Kupferplatte dick mit Kupferſtecherfirniß überzog, dieſen mit Graphitpulver (fein gemahlen und geſchlämmt) leitend machte und dann hineinradiren ließ bis auf die Kupferplatte; größere helle Stellen wurden dann noch beſonders mittelſt eines Pinſels mit Wachs überzogen und wieder leitend gemacht. Die ganze Platte wurde ſodann galvanoplaſtiſch mit Kupfer überlegt. Um die Trennung zu erleichtern, hatte von Kobell ſchon früher bei geſtochenen Platten dieſelben durch Eintauchen in eine Löſung von Chlorſilber und Kochſalz ſchwach verſilbert. Indeſſen findet ſich im 95. Bande von Dingler die gleiche Methode unter dem Namen Glyphographie von Palmer beſchrieben.

Später wurde nach Jakobi's Angabe bei galvanoplaſtiſchen Arbeiten, wo keine beſondere Zerſetzungszelle angewendet wurde, dem Apparat die Einrichtung gegeben, daß man das Zink auf einige untergelegte Stückchen Holz oder Glas horizontal in ein hölzernes oder gläſernes Gefäß legte, deſſen Boden bei kleineren durch eine Schweinsblaſe, bei größeren durch irgend eine andere ſtärkere thieriſche Membran, ſelbſt durch lohgares Kalbleder gebildet iſt. Dieſes Gefäß wird in ein zweites größeres geſetzt und durch paſſende Unterſtützung ſo getragen, daß es von deſſen Boden einen Abſtand von 1—4 Zollen erhält; in das größere Gefäß legt man nun eine Kupferplatte, auf welche die zu überziehende Kupferplatte gelegt wird, nachdem ſie vorher mit Fett ſorgfältig eingerieben und wieder abgewiſcht, oder vorher leicht verſilbert wurde. Der Rand der untern Platte wird mit Wachs überzogen, ſo weit er nicht von der als Form dienenden Platte bedeckt iſt. An die untere Platte werden je nach ihrer Größe ein oder mehrere Kupferdrähte gelöthet, welche mit Wachs überzogen ſind und außerhalb in Queckſilbernäpfe tauchen, in welche auch eben ſo viele an das Zink gelöthete Drähte reichen. Der Apparat kann auf dieſe Art des Nachſehens wegen leicht auseinander genommen werden. Zum Zink kommt, wie in jeder Daniell'ſchen Kette, ſehr verdünnte Schwefelſäure und zu der Form Kupfervitriollöſung, die man dadurch geſättigt erhält, daß man gepulverte Kryſtalle in einem Säckchen hineinhängt. Formen von Gyps

und Thon erhalten eingeſteckte Drähte, bis zu welchen hin dieſelben ebenfalls leitend gemacht werden, doch überdeckt man dieſe Stellen ſpäter wieder mit Wachs, damit ſich hier kein Kupfer ablagere und die ſpätere Trennung erſchwere.

Die Trennung der Kupferplatten geſchieht ſo, daß man beide in den Schraubſtock nimmt und ringsum befeilt, wo man dann da und dort eine Spalte bemerkt, in die man einen Hornſpattel oder ein ähnliches Werkzeug einführen kann, um die Trennung zu bewirken, wozu manchmal auch eine mäßige Erwärmung beiträgt. Die zuerſt erhaltene Platte dient wieder als Form, die Trennung von dieſer iſt aber keiner Schwierigkeit unterworfen.

Man benutzt manchmal einen ähnlichen Apparat, wie der vorhin beſchriebene, um auf die untere Kupferplatte mehrere kleinere Gegenſtände zugleich ſtellen zu können. Wenn der Proceß mehrere Tage dauert, ſo muß man täglich den Apparat auseinandernehmen, an dem niedergeſchlagenen Kupfer die Warzen mit der Feile entfernen, das geſäuerte Waſſer beim Zink erneuern, und ebenſo die Kupfervitriollöſung und das Zink ſelbſt von dem darauf abgeſetzten Schlamme reinigen.

Indeſſen zeigten ſich bei der galvanoplaſtiſchen Nachbildung von Kupferplatten doch auch manche Uebelſtände; ſo machte Gerlach (Dingler's Journal, 82. Bd., und Journal für praktiſche Chemie, Sept. 1841) namentlich nebſt Anderm auch darauf aufmerkſam, daß die galvaniſchen Kupferplatten ſpröde ſeyen, daß ſie zwar dieſe Eigenſchaft durch Erhitzen verlieren, bei letzterem aber dann um $1/22$ lineär größer würden, was bei ungleicher Ausdehnung ſogar Verzerrungen herbeiführen könne. Gerlach meint nach einigen Verſuchen, man könnte vielleicht die Sprödigkeit wegnehmen, ohne die Ausdehnung in gleichem Grade zu erhalten, wenn man die Platten nur bis zur Hitze des ſchmelzenden Zinnes etwa erwärmen würde, ohne aber Genaueres darüber anzugeben. Dann fand man ferner, daß doch mitunter die Kopie mit dem Original zuſammenwachſe, oder ſich in unterhöhlten Linien einhake, und Elsner findet es darum bedenklich (Dingler's Journal, 80. Bd., und Journal für prakt. Chemie, 1841, Bd. 22.), eine koſtbare Platte dieſem Verfahren zu unterwerfen. Die Contractionen, die bei Erzeugung der Form — namentlich aus Gyps — ſtattfinden, ſo wie die Möglichkeit des Verbiegens beim Ablöſen und nachherigen Bearbeiten der Rückſeite, machen nebſt andern bereits angeführten Gründen die Anwendung der Galvanoplaſtik auf Copirung von Maaßſtäben und andern Meßwerkzeugen unanwendbar. Ferner halten, nach de la Rive (Dingler's Journal, 99. Bd.), ſolche Platten überhaupt wenige Abdrücke aus und es ſollen namentlich die Linien galvaniſch copirter Holzſchnitte innen häufig hohl ſeyn, weil in den Vertiefungen ſich die Kupfervitriollöſung nicht gehörig erneuere und daher wegen Erſchöpfung die Ab-

lagerung unterbleibe, bis die Linie zuletzt von der Seite überwachſe, auch ſollen ſie ſich nicht mit Zinnober abdrucken laſſen, da ſich Queckſilber ausſcheide, was bei geſtochenen Platten nicht der Fall ſey. Vogel aus Frankfurt prägte daher (Dingler's Journal, 110. Bd.) die Platten — namentlich aber Stahlplatten — in Wachs ab, das vorher mit Graphit bepudert wurde, was nach dem Prägen nochmals geſchah, worauf der loſe Graphit durch einen Blaſebalg entfernt wurde.

Eine eigenthümliche Idee verfolgte bei geätzten Kupferplatten Vogel, indem er die geätzte Platte — geſtochene mußten vorher ſchwach mit Salpeterſäure behandelt werden — nach Entfernung des Aetzgrundes ganz überwachſen läßt, dann wieder bis auf die Ebene der urſprünglichen Platte wegſchleift, um die ausgefüllte Zeichnung nun in Form eingelegter Arbeit zu erhalten (Dingler's Journal, 106. Bd.). Wie weit dieſe Idee praktiſchen Erfolg hatte — etwa wenn Silber niedergeſchlagen wurde, z. B. auf Eiſen — iſt mir nicht bekannt. Knoblauch ſchlug vor (Dingler's Journal, 105. Bd.) auf einer reingearbeiteten Kupferplatte, Platten für Kupferſtecher galvaniſch zu erzeugen; da dieſe keine unganzen Stellen enthalten, auch ſogleich eben und polirt ſeyn würden. Sollen Stereotypplatten galvanoplaſtiſch erzeugt werden, ſo kann dieſes unmittelbar dadurch geſchehen, daß man eine zwei bis drei Linien hohe Wachsſchicht mit dünngewalztem Blei belegt und einen Abdruck macht, auf welchem man dann die Kupferplatte erzeugt; ſolche Platten, ſo wie galvanoplaſtiſche Abzüge von Holzſtichen werden immer nur dünn genommen, dann auf der Rückſeite unter Beihülfe von ſalzſaurem Zink verzinnt und mit Schriftmetall begoſſen. Bei Holzſtichen wird entweder zuerſt eine Form auf galvanoplaſtiſchem Wege, indem man das Holz durch Graphit leitend macht, oder durch Prägung erzeugt; ſoll aber Holz in eine Flüſſigkeit kommen, ſo müſſen die nicht zu überziehenden Theile deſſelben aus doppeltem Grunde gut geſchützt werden durch Ueberlegen mit Bleiplättchen und Ueberziehen der letztern mit Wachs.

Eine eigenthümliche Anwendung von der galvaniſchen Erzeugung der Kupferplatten machte von Kobell (den 4. Mai 1840 der Akademie zu München vorgelegt) und gab ihr den Namen Galvanographie. Er malte nämlich in Tuſchmanier mittelſt einer Auflöſung von Damarharz in Terpentinöl, der Eiſenroth zugeſetzt wurde, auf eine polirte Kupferplatte und ließ ohne weiteres Leitendmachen dieſelbe galvanoplaſtiſch mit Kupfer überziehen. Die gewonnene Platte kann dann ſogleich zum Drucke verwendet werden, die Lichter werden am hellſten, wo kein Firniß aufgetragen wurde. Das Ueberwachſen der gefirnißten Stellen geſchieht zum Theile von Punkten aus, die ſich auf denſelben bilden, wo ſtellenweiſe das Kupfer der Unterlage durch den Firniß hindurch wirkt, zum Theile aber auch von den

ungedeckten Stellen aus. Da die Platten jedoch nicht viele Abdrücke aushalten ſollen, ſo kann man dieſelben zuerſt galvanoplaſtiſch vervielfältigen. Von Kobell hat ſein Verfahren in einer beſondern Schrift auseinandergeſetzt (München, Cotta).

Für galvanoplaſtiſche Nachbildungen anderer Art, als der Kupferplatten, muß gewöhnlich erſt eine Form beſchafft werden. Man erhält dieſelbe entweder durch Abklatſchen in einem leichtflüſſigen Metall oder durch Abpreſſen in weichen Bleiplatten, oder durch Abgießen in Gyps und Wachs, in Gyps allein, oder auch in Wachs allein, oder in Wachs mit gleichen Theilen Colophonium.

Was nun die metalliſchen Formen betrifft, dürfen dieſelben nicht aus Metallen beſtehen, welche für ſich von der Kupfervitriollöſung angegriffen werden, wie Eiſen, Zinn, Zink; ſolche müßten vorher galvaniſch gut verſilbert werden. Böttger hat im Frankfurter Gewerbefreund von 1840 (Dingler's Journal, 78. Bd.) ein Gemiſch aus 8 Wismuth, 8 Blei, 3 Zinn (Schmelzpunkt 86° R.) empfohlen, und empfiehlt metallene Model überall da, wo ſie anwendbar ſeyen. Er gießt das geſchmolzene Metall in eine Pappſchachtel, rührt es mit einem Eiſendrahte, bis es breiig wird und drückt dann den abzuformenden Gegenſtand bis zum Erkalten darauf. Auch Abdrücke in dünnes, durch Lauge von Fett gereinigtes Blei empfiehlt Böttger; ſie werden unter Beilage von feuchter Pappe in einer Preſſe — Schraubſtock — gemacht. Bei ſehr zerbrechlichen Gegenſtänden kann man Bleifolie — Stanniol iſt nicht anwendbar — mit Baumwolle aufreiben und vor dem Abheben mit einer Miſchung von Wachs und Harz übergießen, doch möchten in ſolchen Fällen Abgüſſe vorzuziehen ſeyn.

Bei dem Abgießen mit flüſſigem Wachs, worein man Gyps gerührt hat, oder mit Gyps allein, oder mit einer Miſchung aus Wachs und Colophonium hat man nur nöthig, den Gegenſtand mit einem Papierrande zu umgeben und die gut flüſſige, aber blaſenfreie Maſſe darauf zu gießen; die Ablöſung darf erſt nach vollſtändigem Erkalten verſucht werden und geht in der Regel leicht. Gypsformen müſſen aber nachher in geſchmolzenes Wachs getaucht werden, um ſie waſſerdicht zu machen. Auch in Guttapercha macht man Abdrücke, nachdem man ſie und den Gegenſtand in Waſſer langſam erwärmt und beide wieder abgetrocknet hat. Es geſchieht am beſten unter paſſenden Beilagen in einem Schraubſtocke. Um nun ſolche und hölzerne Formen leitend zu machen, nahm Spencer (Dingler's Journal, 77. Bd.), nachdem er andere Verfahren, wie Belegen mit Blattgold, Einſtäuben mit Graphit, theils zu theuer, theils ungenügend gefunden, $^1/_{300}$ Phosphor und löſte denſelben in 1 Theil ſtarkem Alkohol im Waſſerbad auf, tauchte den Model einige Secunden lang in eine ſchwache Löſung von ſalpeterſaurem Silber und hielt ihn ſodann über

die Phosphorlöſung, während dieſelbe in einem Uhrglaſe im Sandbade verdunſtete. Statt des letzteren Verfahrens ſchlug Böttger vor, die mit ſalpeterſaurem Silber getränkten Formen in einen Raum zu bringen, in welchen man unentzündliches Phosphorwaſſerſtoffgas leite, welches erhalten wird, wenn man einige Stückchen Phosphor in einer Retorte mit Brennſpiritus übergieße, einige Stückchen Aetzkali zuſetze und erwärme. Jetzt pudert man gewöhnlich ſolche Formen mit feingeſchlämmtem Graphit, oder mit fein zertheiltem Silber — ächte Silberbronce — ein und reibt das Pulver mit einem feinen Pinſel auf.

Die Nachbildung runder Formen bietet der Galvanoplaſtik bedeutende Schwierigkeiten, ſie werden meiſt in einer abgeſonderten Zerſetzungszelle gemacht, und es muß dabei die Größe der Oberfläche des Elementes jener der zu überziehenden Fläche nahezu gleich oder größer ſeyn. Jakobi verſuchte es zuerſt ſo, daß er eine in Wachs modellirte halbrunde Büſte leitend machte, ſie ganz dünn galvaniſch überzog, das Wachs ausſchmolz, die Form mit Terpentinöl reinigte und nun auf der innern Seite eine dicke Ablagerung von Kupfer machte, worauf er es verſuchte, das äußere dünne Blatt (Dingler's Journal, 78. Bd.) herunter zu reißen, was aber nicht ganz ohne Beſchädigung abging. Einem Herrn Soyer in Paris (Dingler's Journal, 78. Bd.) gelang es auf dieſe Art, eine Büſte ziemlich fehlerfrei nachzubilden, worauf er ſogleich ſich erbot, den bekannten großen Elephanten galvanoplaſtiſch darzuſtellen, um den Betrag von 200000 Francs. Zu ſeinem Glücke wohl nahm ihn Niemand beim Worte. Auf ähnliche Weiſe ſuchte auch Herzog Max von Leuchtenberg runde Formen darzuſtellen (Dingler's Journal, 80. Bd.), in deſſen Anſtalt überhaupt Galvanoplaſtik auf das Großartigſte betrieben wird, da nur von dem ſchwarzen Pulver, welches ſich auf den kupfernen Anoden anſetzt und von Verunreinigungen des käuflichen Kupfers und der angewendeten Schwefelſäure herrührt, und von welchem die Annoden alle 12 Stunden gereinigt werden müſſen, in Zeit von — dem Zeitpunkte der Journalnachrichten nach zu urtheilen — höchſtens 2 Jahren 40 Pud geſammelt wurde. Auch in Stiglmeyer's Anſtalt war man nicht glücklich mit dem Verſuche, Statuen in größerem Maaßſtabe galvanoplaſtiſch darzuſtellen. Ein Herr Moyle will zwar (Dingler's Journal, 80. Bd. aus Sturgeon's Annals of Electricity) über Formen von Wachs, was er ſpäter ausſchmolz, runde Formen dargeſtellt haben, allein er will der ſchönſten getriebenen Arbeit ähnliche Gegenſtände, namentlich auch von Silber erhalten haben, was eben die Glaubhaftigkeit ſeiner Angaben ſehr herabſtimmt. Der Verein für Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen ſetzte auf die Anfertigung einer größern Statue auf galvanoplaſtiſchem Wege einen Preis (Dingler's Journal, 108. Bd., aus den Verhand-

lungen des Vereins vom Jahre 1848), den Herr von Hackewitz erhielt. Er fertigte über das Modell eine zerlegbare Form aus 2 Wachs, 2 Terpentin, 1 Colophonium und 5 Graphit, es wurden zuerſt die unterſten Theile innen leitend gemacht und auf den Fugen, ſodann das Zink in einem Beutel aus thieriſchen Häuten (Därmen), mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt, hineingehängt, ohne daß ſie die Form berührten, und dann Kupfervitriol zugegoſſen und das Zink mit der leitenden Form verbunden. War der erſte dünne Ueberzug in zwei aufeinander gehörenden Theilen der Form gebildet, ſo wurden ſie zuſammengefügt und die Leitung vom Zink im Beutel an die leitend gemachte Fuge geführt, nun noch mehr Kupfer niedergeſchlagen und ſo die beiden ſchon vorhandenen dünnen Kupferüberzüge in ein Stück vereinigt. Auf gleiche Weiſe wurden ſucceſſive die Theile der ganzen Statue zuſammengeſetzt, mit Ausnahme der Arme, welche jeder für ſich auf gleiche Weiſe gebildet wurden. Da in die ganz engen Theile keine Beutel mit dem Zink eingeführt werden konnten, ſo wurde für den erſten Ueberzug derſelben eine abgeſonderte Batterie verwendet. Ein ſolches Verfahren kann man wohl einem Preiſe zu lieb unternehmen, allein es zeigt, daß man bis jetzt in dieſem Punkte noch durchaus zu keinen praktiſchen Reſultaten gelangt iſt. Auf eine ähnliche Weiſe, wie hier die Theile zuſammengefügt wurden, verfährt man auch, um kupferne Ringe galvaniſch zu löthen, indem man die Ringe mit Firniß überzieht, die Fuge aber metalliſch rein macht und nun Kupfer in die Fuge bis zum Ueberwachſen derſelben niederſchlägt.

Eine beſondere Anwendung der Galvanoplaſtik machten Mallet und Meillet, indem ſie Glas- und Porcellangefäße mit einem dünnen Kupferüberzuge an den dem Feuer ausgeſetzten Stellen überzogen. Mallet überzog die Gefäße mit Canadabalſam und Graphit, Meillet aber mit Gummi und ſalpeterſaurem Silber, welchen Anſtrich er aber in der Flamme trocknete; allein in der Glühhitze wird dieſe Zwiſchenlage zwiſchen dem galvaniſch darauf abgelagerten Kupfer und dem Gefäße zerſtört und dadurch der Ueberzug locker. M. Simſon ſchlug nun in der Zeitung für Handels- und Fabrik-Induſtrie von 1843 (Dingler's Journal, 89. und 91. Bd.) vor, die zu überziehenden Stellen durch Aetzen mit Flußſpathſäure rauh zu machen und dann mittelſt eines Korkſtöpſels mit Graphit einzureiben. Mohr ſah ſolche Gefäße auf der Pariſer Ausſtellung von 1844, berichtete darüber als ein neues Product in Dingler's Journal, 103. Bd., und verſuchte ſie nachzumachen; allein er wendete einen Copalfirniß an, den er mit Bronce überpuderte, und ſo hafteten ſeine Ueberzüge nur da, wo ſie, wie an Retorten und dergleichen, übergreifend ſeyn konnten, nicht aber an Abrauchſchalen. Elsner machte ſpäter wieder Verſuche hierüber (Dingler's Journal, 108. Bd.), nahm wieder

Firniß und Graphit und wendete auch das Aetzen an; wenn er die Stellen 24 Stunden lang mit einem Brei aus Flußſpath und Schwefelſäure bedeckt hatte, ſo wurden ſie nach dem Abwaſchen mit Graphit eingerieben und der galvanoplaſtiſche Kupferüberzug haftete ſelbſt an Abrauchſchalen vollkommen feſt, wie dieſes übrigens Simſon ſchon jahrelang vorher angegeben hatte, ohne daß es von Elsner erwähnt wird. Glasröhren hat man auf dieſe Weiſe — namentlich Mallet — zu vereinigen geſucht; ſie werden hiefür am Ende aufgeſtaucht und ebengeſchliffen, dann etwa auf ½—1 Zoll vom Ende durch Firniß und Graphit leitend gemacht; allein ſowohl das Befeſtigen der Röhrenenden gegeneinander, als das Eintauchen der Röhren hat ſeine Schwierigkeiten; für letzteres muß das Gefäß Oeffnungen haben, die man nach dem Einführen der Röhre wieder mit Thon verſtopft, ehe man den Kupfervitriol zugießt.

Talbot und Steinheil haben ſich auch damit abgegeben, Metallſpiegel galvanoplaſtiſch nachzumachen, auch Wheatſtone hat ſich damit beſchäftigt. Talbot wollte die Kupferſpiegel dadurch weiß machen, daß er ſie dem Dampfe hydrothionſauren Ammoniaks ausſetzte, Steinheil aber vergoldete die Spiegel. Die urſprünglichen Metallſpiegel können ohne beſondere Vorbereitung als Form benutzt werden. Steinheil wendete beſondere Vorſicht an, um die erſte Ablagerung ſchön rein zu erhalten; er nahm ſie in einer beſondern Zerſetzungszelle vor, in der er ſich durch eine Probeplatte davon zuerſt überzeugt, ob alles in gehörigem Stande ſey, d. h. ob ſchnell ſich eine gleichförmige, roſenrothe Ablagerung bildet; nachher brachte er die Form in einen gewöhnlichen einfachen Apparat, wo er die Ablagerung wochenlang fortſetzte, bis der Spiegel zolldick war. Warzen u. dergl. nahm er täglich mit der Feile weg. Dieſes Verfahren ſcheint bis jetzt noch nicht zu praktiſchen Reſultaten geführt zu haben (Dingler's Journal, 99. Bd.).

Auch galvanoplaſtiſche Copieen von Daguerreotypbildern, nachdem dieſe vorher vergoldet ſind (Dingler's Journal, 91. Bd., aus Philosophical Magazine, Sept. 43.), wie dieſes Draper angab, ſcheinen bis jetzt ohne Erfolg oder doch wenigſtens ohne den beabſichtigten geblieben zu ſeyn.

Noch weniger iſt dieſes wohl mit Napier's Verfahren der Fall, welcher leinene Zeuge mit Kupfer überzog, um ein waſſerdichtes Zeug zu erhalten. Der Ueberzug ſollte pr. Quadrat-Yard nur 12 Unzen wiegen (Dingler's Journal, 91. Bd.).

Um die zu dieſen Arbeiten allen erforderliche Vitriollöſung wohlfeiler zu erhalten, räth Schubert (Dingler's Journal, 81. Bd., und Erdmann und Marchand's Journal für prakt. Chemie, 1841, Nr. 11.), die Kupferaſche der Kupferſchmiede zu kaufen, ſie mit Schwefelſäure von 15—20° Baumé zu einem dicken Brei anzurühren, dieſen auf Tel-

lern von Steingut 24 Stunden ſtehen zu laſſen und dann mit gleicher Schwefelſäure auszuwaſchen; nach dem Abgießen und Decantiren wird dieſes mit denſelben Portionen ſo lange wiederholt, bis entweder die Kupferaſche erſchöpft oder die Schwefelſäure geſättigt iſt; erſteres erkenne man daran, daß die Aſche beim Wiederanfeuchten nicht mehr roth werde, letzteres am Aufhören der ſauren Reaction und der geſättigten Farbe. Statt friſcher Schwefelſäure verwende man dann ſpäter nur die durch galvanoplaſtiſche Arbeiten erſchöpfte Flüſſigkeit.

182 **Vergoldung, Verſilberung u. ſ. w. auf galvaniſchem Wege.** Man hatte ſchon ſeit längerer Zeit beobachtet, daß ſich in einzelnen Fällen an Poldrähte, welche in Metallöſungen tauchen, die Metalle in compactem Zuſtande niederſchlugen und feſt daran hafteten, und es war auch ſchon der Gedanke ausgeſprochen worden, dieſes zu wirklichen Ueberzügen anderer Metalle zu verwenden; allein erſt de la Rive gab dieſer Sache eine entſcheidende Wendung, indem er zeigte, wie man mit Anwendung galvaniſcher Ströme eine Goldlöſung zerſetzen müſſe, damit der als negativer Pol dienende Gegenſtand mit einer dünnen Goldſchichte gleichmäßig überzogen — vergoldet würde.

De la Rive (Dingler's Journal, 76. Bd., aus Comptes rendus, 1840, Nr. 14.) nahm eine Löſung von Chlorgold — 40 bis 80 Gran metalliſches Gold auf ein Pfund Waſſer — in eine Blaſe und hing dieſe in »mit einigen Tropfen« Schwefelſäure angeſäuertes Waſſer, in welches er Zink ſtellte; den zu vergoldenden Gegenſtand verband er durch Kupferdrähte mit dem Zink und tauchte ihn in die Goldlöſung; nach ziemlich kurzer Zeit nahm er ihn heraus, ſpülte denſelben, rieb ihn ſtark mit einem reinen leinenen Tuche, tauchte ihn wieder ein und wiederholte dieſes einige Mal. Er hielt nach ein paar Eintauchungen den Gegenſtand für ſtark genug vergoldet und glaubte nicht, das längeres Eintauchen von Nutzen ſey; denn unter den Gründen, welche ihn bei dieſem Verfahren leiteten, führt er auch folgenden an: »3. Die Eigenſchaft des elektriſchen Stromes, um ſo leichter von einer Flüſſigkeit in ein Metall und umgekehrt überzugehen, je leichter dieſes Metall von der Flüſſigkeit angegriffen wird. In dem gegebenen Falle wird das in die Goldauflöſung getauchte Metall leichter angegriffen, als das Gold ſelbſt; ſo lange folglich der eingetauchte Theil nicht gänzlich vergoldet iſt, wird der Strom die Punkte aufſuchen, wo das zu vergoldende Metall noch bloß iſt, ſie durchſtreifen und darauf Gold abſetzen, wie lang auch der Weg ſeyn mag, den er zu durchlaufen hat, d. h. ſo unregelmäßig auch die Form des zu überziehenden Gegenſtandes iſt.« Die zu vergoldenden Gegenſtände wurden rein metalliſch gemacht und blieben nach dem Vergolden matt oder polirt, wie ſie es vorher waren. Die von de la Rive hervorgebrachten Vergoldungen waren alſo jedenfalls

nur dünn; übrigens hat er dabei keinerlei Maaßbeſtimmungen, weder über Stromſtärke noch über das Gewicht des abgeſetzten Goldes gemacht. De la Rive hat anfänglich nur Silber und Meſſing unmittelbar vergoldet; Eiſen mußte vorher verkupfert werden. Böttger wiederholte auch dieſe Verſuche mit einer möglichſt neutralen Goldlöſung und will ein Rothwerden des Gegenſtandes bemerkt haben, wenn der zu leitende Kupferdraht in die Goldlöſung reichte. Kupfer könne gar nicht vergoldet werden, wenn die Goldlöſung auch nur Spuren von Kupfer enthalte, es ſchlage ſich dann nur Kupfer nieder und deshalb müſſe de la Rive's Angabe von vorherigem Verkupfern eiſerner Gegenſtände falſch ſeyn, er habe Stahlfedern u. dergl. ſehr gut ohne Verkupferung vergoldet. (Dingler's Journal, 78. Bd., aus dem Frankfurter Gewerbefreund für 1840, Nr. 40.) Mit Chlorplatin könne man auf dieſelbe Weiſe dünn verplatinen. Auch Böttger meint mit 5—6 je eine Minute dauernden Eintauchungen eine ſtarke Vergoldung zu erreichen.

Eiſen kann allerdings mit Chlorgold ohne vorherige Verkupferung ſchwach vergoldet werden und auch Arago legte der Akademie eine von Deut vergoldete Uhrfeder vor (Dingler's Journal, 80. Bd., aus France industrielle, 1841, Nr. 19.) und bemerkte dabei, daß ein Herr Perrot in Rouen ſchon früher ſolche gemacht habe und ſie der Akademie nur nicht habe vorlegen wollen, bis er eine ganze Uhr während des Ganges würde vergoldet haben (!).

Praktiſch wurde jedoch das Vergolden und Verſilbern erſt, nachdem die Cyanverbindungen eingeführt wurden. Elkington hatte in Birmingham eine Fabrik von Bijouteriegegenſtänden, wo durch Eintauchen vergoldet und verſilbert wurde, und wo man auch Verſuche machte, mittelſt Chlorgold galvaniſch zu vergolden; als aber der Chirurg John Wright die Cyanverbindungen angewendet hatte, erkannte Elkington ſogleich die hohe Wichtigkeit des Gegenſtandes, kaufte ihm die Sache ab und gewann gerade noch die Zeit, um dieſes Verfahren in die Specification ſeines Vergoldungsverfahrens aufzunehmen, worauf er bereits ein Patent angemeldet hatte. Auch in Frankreich nahm er ein Patent und kam hier mit v. Ruolz in Concurrenz, deſſen Patent übrigens ein paar Tage jünger iſt, und mit dem ſich Elkington ebenfalls verband.

Elkington wendete immer eine getrennte Zerſetzungszelle an und für Vergoldung 3 Pfund Cyankalium auf 10 Pfund Waſſer und 5 Unzen Silberoxyd oder 2 Pfund Cyankalium, 10 Pfund Waſſer, 2 Unzen Goldoxyd an; ſtarke Ueberzüge wurden dabei matt und mußten zwiſchendurch mit der Kratzbürſte behandelt werden. Eiſen mußte vorher verkupfert werden; für letzteren Zweck wurde das Eiſen unter Berührung mit Zink in auf $\frac{1}{2}$ verdünnte Schwefelſäure gebracht, bis es rein war, dann in eine geſättigte Löſung von angeſäuertem Kupfervitriol, der ſich

in einem Meſſinggefäß befand, mit dem man das Eiſen in Berührung brachte. V. Ruolz wendete in Cyankalium gelöſtes Cyangold und ebenſo auch in Cyaneiſenkalium (gelbem und rothem) gelöſtes Cyangold, auch in neutralem Schwefelkalium gelöſtes Schwefelgold an; obwohl letzteres in dem Berichte der Commiſſion, welche die Sache zu unterſuchten hatte (Dingler's Journal, 83. Bd., aus Comptes rendus, Nov. 1841.), als das beſte genannt wird, ſo machten ſie ihre Verſuche doch alle nur mit den Cyanverbindungen. Bei einem ſolchen Verſuche wurde 1 Grm. trockenes Chlorgold in 100 Grm. Waſſer mit 10 Grm. gelbem Cyaneiſenkalium gelöſt und eine Säule von 6 Daniell'ſchen Elementen, zu 2 Decimeter Seite jede Platte, angewendet; der Niederſchlag fand ſich der Zeit proportional und es wurden bei bis zu 60° C. erwärmter Flüſſigkeit auf eine Meſſingplatte von 50 Quadr.-Centimeter 0,063 Grm., bei 35° 0,0296, bei 15° 0,0126 Gold pr. Minute niedergeſchlagen, während nach den eigends hiefür angeſtellten Verſuchen von Dumas Feuervergoldungen auf gleicher Fläche höchſtens 0,1297 und mindeſtens 0,0214, Vergoldungen auf naſſem Wege aber nur 0,0137—0,0211 Grm. Gold beſitzen.

Aehnliche Reſultate erhielt die Commiſſion bei Löſungen von 1 Cyanſilber auf 100 Waſſer und 10 gelbem Cyaneiſenkalium. Mit Cyanplatin dagegen ſey die Ueberziehung 100mal langſamer gegangen, aber mit Doppelchlorplatinkalium in Aetzkali gelöſt, ſey es ſo gut gegangen als bei Gold, ſagt die Commiſſion der Akademie. Die Verſuche über das Verkupfern, Verzinnen, Verkobalten und Vernickeln ſind nur oberflächlich angegeben und nur bei Nickel iſt ſeine leichte Ablagerung auf Eiſen bemerkt und bei dem Verzinken des Eiſens auf ſein vortheilhaftes elektriſches Verhalten in Bezug auf den Schutz dieſes Metalls aufmerkſam gemacht; während ſpäter v. Ruolz behauptet (Dingler's Journal, 86. Bd., aus Comptes rendus, Aug. 1842, Nr. 6.), daß verzinktes Eiſen an bloßen Stellen viel ſtärker roſte, als verbleites oder verzinntes, was auch Elsner (Dingler's Journal, 88. Bd.) beſtätigt. Was für Umſtände dieſe widerſprechenden Verſuche begleitet haben, iſt aus den Aufſätzen nicht zu entnehmen. Wenn dagegen die Commiſſion ſagt: »Außerdem kann das Verfahren dazu dienen, um das Eiſen mit einem Meſſingüberzuge zu verſehen, wie wir uns überzeugt haben; man braucht nämlich nur Zink und Kupfer niederzuſchlagen und dann den Gegenſtand in Kohlenpulver zum Rothglühen zu erhitzen, wobei ſich Meſſing erzeugt,« ſo iſt das doch wohl nur eine Schreibpultüberzeugung und iſt jenes Stückchen, welches jede ſolche Prüfungs-Commiſſion meint, zur Erweiterung der neuen Erfindung beitragen zu müſſen.

Das neue Verfahren fand allgemeinen Beifall, und man fand bald, daß man mit vier- bis ſechsmal verdünnterer Löſung gleich gute Reſultate

erhielt, ſo wie, daß es ſicherer ſey, nur ein Element anzuwenden, oder nur die einfache Kette, indem man zum Zink Kochſalzlöſung nahm, doch zeigte ſich auch ein Uebelſtand darin, daß bei größern Quantitäten und längerer Dauer der Blauſäuregeruch läſtig war *), und daß bei Anwendung des Blutlaugenſalzes ſich gern ein blaugrüner Bodenſatz bilde (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd.), während die Anwendung des Cyankaliums, bevor Liebig ſeine neue Bereitungsweiſe bekannt gemacht hatte, theuer war. Auch vergoldete man anfänglich nicht ſtark genug, indem man ſich ſeltſame Vorſtellungen von Golderſparniß machte, wodurch das Verfahren beim Publikum in Mißcredit kam; denn allerdings kann man im Feuer nicht ſo ſchlecht vergolden, als auf galvaniſchem Wege. Man legte anfänglich auch beſonders darauf Werth, daß das Stück vor dem Vergolden ganz fertig gemacht werden könne und fand erſt ſpäter, daß eine ſtarke Vergoldung immer matt werde. Daß man ſtellenweiſe einen Deckgrund auftragen könne, z. B. aus Kupferſtecherfirniß oder auch nur aus Wachs, um ſo nur gewiſſe Theile zu vergolden, hatte gleich anfänglich von Ruolz bemerkt. Daß man die Farbe der Vergoldung ins Rothe treiben könne durch Zuſatz von Cyankupfer, wurde ebenfalls bald bekannt (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd.).

Man wendet jetzt gewöhnlich das Cyankalium an, welches nach Liebig's Methode bereitet iſt, da es ſo von Jedermann dargeſtellt werden kann, obwohl es immerhin noch etwas theuer wird, weil man aus den aufgewendeten Materialien nur wenig erhält. Die Vorſchrift Liebig's lautet ſo: (Dingler's Journal, 84. Bd., aus Annalen der Chemie und Pharmacie, März 1842). »Wenn man 8 Theile Blutlaugenſalz auf einem heißen Eiſenblech ſtark trocknet, ſchwach röſtet, ſodann fein gepulvert mit 3 Theilen trockenem kohlenſauren Kali innig mengt und in einen heſſiſchen Tiegel, den man vorher ſchwach rothglühend macht, auf einmal einträgt und bei dieſer Temperatur erhält, ſo ſchmilzt die Miſchung anfänglich zu einem braunen Magma unter lebhafter Gasentwickelung; nach einigen Minuten ſchon, wenn die flüſſige Maſſe Rothglühhitze angenommen hat, ſieht man die dunkle Farbe heller werden und beim fortgeſetzten Schmelzen wird ſie im Tiegel klar und bernſteingelb. Steckt man von Zeit zu Zeit einen heißen Glasſtab hinein, ſo bleibt nach dem Herausziehen das Anhängende nach dem Erſtarren anfänglich braun, ſpäter wird es gelb und zuletzt, zu Ende der Operation, iſt die Flüſſigkeit, welche am Glas-

*) Gegen dieſen Uebelſtand hilft nur Luftzug, allein die Cyanverbindungen bewirken auch alle Symptome der Blauſäurevergiftung, wenn man mit wunden Händen in denſelben arbeitet und müſſen in jeder Beziehung vorſichtig behandelt werden.

ſtabe hängen bleibt, klar und farblos wie Waſſer, und erſtarrt zu einer blendend weißen kryſtalliniſchen Maſſe.

»Während des Schmelzens bemerkt man braune Flocken in der Flüſſigkeit herumſchwimmen, welche ſich zuletzt ſchwammartig vereinigen und eine hellgraue Farbe annehmen. Nimmt man nun den Tiegel aus dem Feuer und läßt ihn etwas abkühlen, ſo geſchieht es meiſtens, daß ſich das graue Pulver vollſtändig zu Boden ſetzt; durch ein ein- oder zweimaliges Umrühren mit dem Glasſtabe wird dieſes Abſetzen erleichtert. Die darüber ſtehende heiße geſchmolzene Maſſe läßt ſich nun mit der größten Leichtigkeit in eine heiße Porcellanſchale ausgießen, ohne daß bei einiger Vorſicht ein Körnchen des abgeſetzten Pulvers mitfolgt.«

Die zerſchlagene Maſſe wird in wohlverſchloſſenen Gefäßen aufbewahrt, da ſie an der Luft zerfließt und ſich im flüſſigen Zuſtande zerſetzt.

Die Goldlöſung bereitet man nun ſo: das Gold wird dünn ausgewalzt und zerſchnitten, in einer Porcellanſchale mit ſeinem ſiebenfachen Gewichte Salzſäure im Waſſerbade erwärmt und ſo lange mit Salpeterſäure nach und nach verſetzt, bis alles Gold gelöſt iſt — oder gerade zu das 10—12-fache Gewicht Königswaſſer — und dampft bis zur Trockene ein; man löſt das Chlorgold nun in Waſſer und trennt durch Filtriren das ſich ausſcheidende gelbe Goldchlorür, aus welchem durch Behandlung mit heißem Waſſer ſich das Gold metalliſch wieder ausſcheidet, und ſetzt der Löſung ſo lange kohlenſaures Natron zu, bis ſich ſchwache alkaliſche Reaction zeigt, worauf man Cyankaliumlöſung (1 Salz auf 10 — 20 Waſſer ungefähr) unter Umrühren ſo lange zuſetzt, bis alles gelöſt und die anfängliche Trübung wieder verſchwunden iſt, worauf man die Löſung ½ Stunde lang aufkocht. Wenn die Farbe der Vergoldung nicht mehr rein wird, ſoll man etwas kohlenſaures Natron zuſetzen und wieder aufkochen, oder auch Cyankalium, beſonders dann, wenn das Gold an der Anode nicht mehr ordentlich gelöſt wird (Ryhiner, Dingler's Journal, 110. Bd.). Die Farbe wird beſonders hochroth, wenn bei gelinder Erwärmung gearbeitet wird.

Für die Silberlöſung nimmt man 1 kryſtalliſirtes ſalpeterſaures Silber auf 32 deſtillirtes Waſſer und ſetzt ſo lange Cyankaliumlöſung zu, bis die anfängliche Trübung wieder gelöſt iſt. (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd., aus den Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen.) Auch wendet man friſchgefälltes und gut ausgeſüßtes Chlorſilber an, von welchem man in eine Löſung von $^1/_{10}$ Cyankalium in 1 Waſſer ſo viel nach und nach einträgt, als ſich auflöſt und dann noch einmal ſo viel Cyankalium und Waſſer zuſetzt. Letztere Löſung ſoll ſelbſt zu ſilbernen galvanoplaſtiſchen Arbeiten dienen. Für die Kupferlöſung nimmt man 1 Theil Kupfervitriol auf 12 Theile Waſſer und verfährt wie beim Silber.

Allein die Verkupferung geht nicht wohl mit einer einfachen Kette, man muß eine Säule von mindeſtens 2 — 3 Elementen anwenden.

Eine Menge von Vorſchlägen, die Anwendung anderer Verbindungen betreffend, will ich hier übergehen, da dieſelben in der Praxis keinen Eingang fanden, und nur beifügen, daß der Niederſchlag beſonders befördert werde durch Zuſatz einer ſehr kleinen Quantität von Schwefelkohlenſtoff; (Millward und Lyons, Dingler's Journal, 108. Bd., aus Repertory of Patent Inventions, Febr. 1848.) 5 Unzen Schwefelkohlenſtoff mit 6 Maaß (1 Maaß dem Volumen nach = 2 Pfd. Waſſer) der Vergoldungsflüſſigkeit und hiervon täglich 2 Unzen auf 10 Maaß Cyanmetallöſung zugeſetzt. Es wurde dieſes, wenigſtens für Silber, von Elkington beſtätigt (Dingler's Journal, 114. Bd., aus Practical Mechanics Journal, Octob. 1849.) ꝛc. Beſondere Schwierigkeiten hat das Verplatinen gemacht, ſo wie das Vernickeln, und es ſcheint nicht, als hätte man bis jetzt darin ſolche Fortſchritte gemacht, daß die Praxis daraus Nutzen ziehen könne. Nach Fehling (Dingler's Journal, 86. Bd.) und Böttger (ebend. 90. Bd., aus Annalen der Chemie und Pharmacie, Sept. 1843) erhalte man noch die beſten Reſultate, wenn man den Platinſalmiak mit etwas Ammoniak verſetze. Auch für Nickel empfiehlt Böttger daſſelbe, doch iſt die vorbereitende Reinigung des käuflichen Nickels umſtändlich

Bei der galvaniſchen Verzinkung des Eiſens muß man (Pelatt, Dingler's Journal, 95. Bd., aus Technologiste, Febr. 1845) eine ſaure Löſung von ſchwefelſaurem Zink mit großer Anode von Zink anwenden, um ein dauerhaftes Reſultat zu erzielen.

Die verſchiedenen Vorſchläge, welche gemacht wurden, um Eiſen und Stahl — namentlich letzteren — ohne vorgängige Verkupferung zu vergolden, werden hier übergangen, und es können z. B. jene von Desbordeaux in Dingler's Journal vom Jahre 1845 und 1846 nachgeſehen werden; ſie hatten bis jetzt wenig oder gar keinen praktiſchen Erfolg.

Den in dem Gutachten der Akademie niedergelegten Gedanken in Bezug auf die Fällung von Legirungen — obwohl er dort bereits als durch Erfahrung beſtätigt angeführt iſt — griff ſpäter von Ruolz auf. Sein Aufſatz beginnt zwar mit den Worten: »Schon Becquerel's ſinnreiche Anwendung der Elektrochemie in der Metallurgie machte es wahrſcheinlich, daß es gelingen dürfte, auf galvaniſchem Wege Metalllegirungen aus Auflöſungen niederzuſchlagen.« Allein man muß ſich an ſolche ſeltſame Anfänge bei franzöſiſchen Aufſätzen eben gewöhnen. Es gelang wirklich von Ruolz, nach den der Akademie vorgelegten Proben Bronce auf Eiſen niederzuſchlagen, es müſſe aber das Verhältniß der Metalle in den Auflöſungen ein anderes ſeyn, als das der verlangten Legirungen. So hatte von Ruolz zu 500 Theilen Waſſer ſo viel Cyankalium geſetzt, bis die Löſung 4° Beaumé zeigte, und

dann bei 40° — 48° R. zuerſt 30 Theile Cyankupfer und dann 10 Theile Zinkoxyd zugeſetzt und daraus Niederſchläge erhalten, welche 10 — 20% Zinn gehalten hätten. Später nahm auch Jakobi (Dingler's Journal 93. Bd, aus Bulletin de St. Petersbourg) dieſen Gegenſtand auf und bereitete eine Meſſinglöſung, indem er in einer Cyankaliumlöſung eine Anode von Kupfer und eine Kathode von Platin anwendete, bis ſich letzteres verkupferte, worauf er eine Anode von Zink nahm, bis der Niederſchlag die gewünſchte Farbe erhielt, worauf er eiſerne Gegenſtände mit Meſſing unter Anwendung einer Anode von Meſſing überziehen konnte. Es iſt mir trotz vieler Verſuche nie gelungen, auf dieſe Weiſe fortan Meſſing niederzuſchlagen, indem ſich die Farbe des Niederſchlags bald änderte und die Meſſing-Anode ſchwarz wurde; auch Jakobi ſcheint einigen Aeußerungen zu Folge ähnliche Erfahrungen gemacht zu haben. Ganz gut gelang es mir aber, ſtarke und feſthaftende Meſſingüberzüge auf Eiſen zu machen, wenn ich ſtatt der Anode von Meſſing zugleich Kupfer und Zink nahm und jeden Theil ſo tief eintauchen ließ, bis die Farbe des Niederſchlags die gewünſchte war; es ſtimmt dieſes mit der oben angeführten Erfahrung von von Ruolz überein.

Daß man durch Kupfer legirtes Gold fällen könne, iſt bereits oben erwähnt, doch ſoll es zweckmäßig ſeyn, zuerſt eine Schicht von reinem Gold zu fällen ehe man der Goldlöſung das Cyankupfer zuſetze.

Wenn ſich die Metalllöſungen in Folge des Gebrauchs erſchöpfen, muß man den Strom verſtärken, oder wieder von einer concentrirten Löſung zuſetzen. Allein man wendet jetzt gewöhnlich Anoden von dem zu fällenden Metalle an und kann dadurch die Löſungen ſtets im erforderlichen Concentrationszuſtande erhalten, während man ſonſt Anoden von Platin nahm. Petzhold führt dieſes Verfahren bereits in ſeiner Schrift: »die galvaniſche Vergoldung, Verſilberung und Verkupferung — Dresden und Leipzig 1842, an, und Jakobi machte gelegenheitlich bei ſeinem Aufſatze über das Vermeſſingen darauf aufmerkſam, daß man gar nicht nöthig habe, auf chemiſchem Wege Metalllöſungen zu machen; man erhalte die Löſung, wenn man in einer Cyankaliumlöſung eine Anode des verlangten Metalls und eine Kathode von Platin anwende, ſo lange, bis ſich auf letzterem das Metall fälle. Solche Anoden werden in dünn ausgewalztem Bleche, das an einen Platindraht gelöthet iſt, angewendet. Beim Verſilbern geht das Anwenden von Silberanoden nur mit ſtarken Strömen, oder überſchüſſigem Cyankalium, weil ſich, nach Nappier (Dingler's Journal, 95. Bd., aus Philosophical Magazine, Nov. 1844), Cyanſilber bilde, welches in Waſſer und neutralem Cyanſilberkalium unlöslich ſey. Uebrigens wird, nach Nappier's Unterſuchungen, das Cyankalium nicht zerſetzt, ſo lange Silber in der Löſung iſt.

Man kann auf dieſe Weiſe auch Entgolden ꝛc., wenn man den hiezu be-

ſtimmten Gegenſtand als Anode gebraucht; es iſt dieſes ſehr zweckmäßig, wenn ein Gegenſtand durch unrichtige Leitung des Vergoldens eine ſchwärzliche Farbe annimmt. Uebrigens löſt Cyankalium Gold auch ohne galvaniſchen Strom auf.

Was die anzuwendende Stromſtärke betrifft, ſo hat die Erfahrung gelehrt, daß dieſelbe nur ſehr gering ſein dürfe und zwar ſo, daß ſich an dem zu überziehenden Metalle noch keine, oder doch nur kaum merkliche Gasblaſen zeigen. Langſamer bewirkte Ablagerungen ſind compacter und haften feſter an der Unterlage*). Man hat anfänglich an der Haltbarkeit der galvaniſchen Ueberzüge gezweifelt und Becquerel (Dingler's Journ. 89. Bd. aus Comptes rendus, Juli 1843) machte ſogar den Vorſchlag das zu vergoldende Stück zuerſt mit ſalpeterſaurem Queckſilber zu amalgamiren, hierauf zu vergolden, dann dem gewöhnlichen Färbeverfahren zu unterwerfen, da die hiebei angewendete Hitze zur Verjagung des Queckſilbers zureiche. Man hatte offenbar anfänglich das ſchlechte Halten der galvaniſchen Vergoldungen nicht der mängelnden Dicke der Goldſchicht zugeſchrieben. Baral (Dingler's Journal, 105. Bd., aus Comptes rendus, Mai 1847) löſte im Feuer und galvaniſch vergoldete Gegenſtände auf, um das Goldhäutchen unterſuchen zu können, und fand, daß das galvaniſche mehr Continuität habe, glaubt aber dennoch, daß es weniger hafte, weil ſich bei der Feuervergoldung ein Doppelamalgam bilde und nach der Abtreibung dann Theile des einen Metalls in das andere hinauf reichten. Allein wenn man das Feſthalten plattirter Ueberzüge betrachtet und daß der im Feuer gebildete Ueberzug poröſer, alſo auch abnutzbarer iſt, ſo wird man ſich, abgeſehen von der Erfahrung, recht wohl über die Haltbarkeit der galvaniſchen Vergoldung beruhigen können. Die Erfahrung beſtätigt übrigens die Haltbarkeit guter Vergoldungen — ſo ſtark als Feuervergoldung — vollkommen. Galvaniſch verſilberte Gegenſtände werden mit der Zeit gerne gelb, es laſſe ſich dieſes aber dadurch verhüten, daß man die Gegenſtände nach dem Verſilbern längere Zeit in warmem Waſſer liegen laſſe und ſauber darin waſche (Dr. Philipp, Dingler's Journal, 92. Bd. aus dem Berliner Gewerb-, Induſtrie- u. Handelsblatt 1844 Nr. 2.), und gelb gewordene Gegenſtände werden wieder weiß, wenn man ſie mit einem Teige aus Waſſer und Weinſteinkohle beſtreiche, in der Wärme trockne und dann mit Waſſer und Weinſtein erhitze, gut abſpüle und trockne (Elsner, Dingler's Journal, 93. Bd.). Mouray dagegen empfiehlt das Beſtreichen der Gegenſtände mit Borax und Erhitzen derſelben bis zum Fließen

*) Ich habe übrigens unter ſtürmiſcher Gasentwicklung bis 1 Milligram Gold auf den Quadratcentimeter niedergeſchlagen, es nachher mit dem Finger, dann mit Leinwand und zuletzt mit der Kratzbürſte behandelt, ohne dabei mehr als etwa $\frac{1}{12}$ des aufgetragenen Goldes herunter zu bringen. Bei 2 Milligr. pro Quadratcentimeter ging bei gleicher Behandlung bis $\frac{1}{4}$ des Goldes los.

des Borax (Dingler's Journal, 97. Bd., aus dem Technologiste, Juni 1845).

In Bezug auf die anzuwendenden Elektricitätsquellen kommt nicht nur ihre Beständigkeit, sondern auch der Kostenpunkt, und die Unbequemlichkeit, die z. B. in Werkstätten durch die salpetrichte Säure der Bunsen'schen und Grove'schen Elemente hervorgerufen wird, in Betracht. Gewöhnlich wendet man für kleine Gegenstände einen einfachen Apparat mit einer Thierblase als Scheidewand an und Kochsalz oder Cyankaliumlösung beim Zink und nimmt den zu überziehenden Gegenstand als das andere Glied. Im Allgemeinen ist aber eine besondere Zersetzungszelle vorzuziehen, schon wegen der Anoden von Gold ꝛc., und dann eine gewöhnliche Daniel'sche Kette. Herzog Max von Leuchtenberg, dessen galvanoplastische und Vergoldungswerkstätte an Großartigkeit keiner nachsteht — die Elkington's arbeiten mehr mit Silber —, wendet Elemente aus Eisen- und Cohksplatten an, welche mit Schwefelsäure geladen werden, wo der erzeugte Eisenvitriol die Unkosten ganz decke (Dingler's Journal, 97. Bd., aus Technologiste, August 1845). Es werden diese Batterien nur je Montags geladen, um dann mit einigen Auffrischungen Tag und Nacht gebraucht zu werden, bis Samstags, indem sie Nachts zum Zersetzen der erschöpften Goldlösungen verwendet werden, da nicht mit Goldanoden gearbeitet wird, weil diese ein todtes Kapital bilden und die Arbeiter in Versuchung führen. Die Goldlösungen werden in der Anstalt so bereitet, daß 1 Theil Gold in Königswasser gelöst und trocken gedampft, dann 1 Theil kaustisches Kali gelöst und dem Golde zugesetzt, die Mischung erwärmt und dann filtrirt wird. Der Herzog hält solche Goldlösungen als die besten zum Arbeiten, welche auf 1 Decilitre 1 — 0,25 Grammen Gold enthalten. Von der Großartigkeit dieser Anstalt wird man sich eine Vorstellung machen, wenn man erfährt, daß (Dingler's Journal, 105. Bd. aus Bulletin de l'Academie de St. Petersbourg, Nr. 130.) die in drei mit Kautschuck ausgelegten hölzernen Behältern vorräthige Goldlösung zusammen 5500 Litres betrug, mit etwa 80 Pfd. Gold, wovon in der Zeit, in welcher die 204 Paare kupferner Kapitäler und Basen für die Isaakskirche in Gesammtgewicht von 7200 Pud à 16 Kilogr. und circa 1300 □Metre Oberfläche vergoldet wurden, monatlich zu Zeiten bis 60 Pfund ausgeschieden wurden. Es wurden in 3 Jahren 280 Kilogramm Gold verbraucht. An jedem Tage wurden 8 Elemente für gewöhnlich als ein einzelnes Paar, aber bei schon erschöpften Lösungen zu einer zweipaarigen Säule verbunden, angewendet oder man half durch Vergrößerungen der Anode ab. War der Strom zu stark — zeigte sich Gas an der Kathode oder wurde der Gegenstand dunkelfarbig, so half man wohl auch durch Vergrößerung der zu vergoldenden Fläche, d. h. durch Zulegen weiterer Gegenstände. Immer wurden auch hier die Gegenstände, wenn sie ein mattes An-

ſehn zeigten, herausgenommen, und mit der Kratzbürſte behandelt, was bis dreimal wiederholt wurde, um gehörige Vergoldung zu erlangen.

Die Anwendung von Magnetelektriſirmaſchinen ſcheint im Großen bedeutende Vortheile zu gewähren. Sturgeon wendete ſie zwar, wie es ſcheint, zuerſt an; aber Woolrich betrieb das Vergolden ꝛc. damit zuerſt fabrikmäßig auf ein Patent, welches ihm die Elkington's abkauften (Dingler's Journal, 105. Bd., aus Bulletin de St. Petersbourg, Nr. 130.), und durch ihn eine Maſchine bauen ließen für ihre Fabrik neuſilberner Gegenſtände, welche bloß zum Verſilbern täglich 7 ruſſiſche Pfund Silber verbraucht. Die Magnetelektriſirmaſchine erhielt 8 Hufeiſen aus je 12 Stahllamellen, die drittehalb Zoll breit und zuſammen vier Zoll dick ſind, vom Pol bis zur Höhe des Bogens beträgt die Länge drittehalb Fuß und die Schenkel haben im Lichte 6 Zoll Abſtand. Die Eiſenkerne der Anker ſind 6 Zoll lang und drittehalb Zoll dick und ſtehen radial auf einem Rade von drittehalb Fuß Durchmeſſer, gegen welches ebenfalls radial die Magnete gerichtet ſind. Das Rad ſoll 700 Umdrehungen in der Minute machen und der Strom 16 — 20 Unzen Silber in der Stunde ablagern.

Bei den großartigen Arbeiten des Herzogs von Leuchtenberg wurde die Quantität des abgeſetzten Goldes auf chemiſchem Wege beſtimmt, indem man aus den geeichten Vergoldungsgefäßen vor und nach dem Vergolden einen Decilitre heraus nahm und dieſen unterſuchte, wozu eigene ſehr zweckmäßige Methoden erfunden und bekannt gemacht wurden (Dingler's Journal, 99. Bd., aus Bulletin scient. figur. de St. Petersbourg). Daß bei einer ſolchen Methode nur Platinanoden gebraucht werden können, iſt für ſich klar. Kleine Gegenſtände werden vor und nach dem Vergolden gewogen. Beides iſt für den gewöhnlichen Vergolder übrigens unpraktiſch, und es bleibt ihm nichts anders übrig, als aus dem beginnenden Mattwerden polirter Stellen die Stärke der Vergoldung zu erkennen. Würde eine einfache Buſſole eingeſchaltet, ſo ſollte ſich dieſe doch wohl durch einige Verſuche auf den Goldniederſchlag für die Minute näherungsweiſe eichen laſſen, auch wenn es keine Tangentenbuſſole wäre. Jedenfalls würde eine ſolche dem Arbeiter ſtets den Zuſtand des Stromes ſicher anzeigen, während er jetzt es nicht bemerkt, wenn derſelbe ſchwächer zu werden beginnt, und nur an der Gasentwicklung und dem Braunwerden, wenn er zu ſtark iſt.

Frankenſtein führte eine neue Methode, galvaniſch zu vergolden, ein, die darin beſteht, daß das zu vergoldende Stück mit Zink in Berührung gebracht wird — größere Stücke an mehrern Stellen und mit dieſem eingetaucht wird. Das Zink wird ebenfalls vergoldet oder verſilbert und die Menge des Niederſchlags ſoll, nach Fehling (Dingler's Journal, 78. Bd.), ziemlich der Zeit proportional ſeyn. Es wird in bis 60° erhöhter Temperatur gearbeitet und der Gegenſtand muß alle 10 — 20 Minuten herausge-

nommen und gereinigt werden. Als Goldlöſungen empfahl Frankenſtein 6 Theile Blutlaugenſalz, 4 kohlenſaures Kali, 10 Waſſer, 1 Chlorgold, und für Silber: 5 Blutlaugenſalz, 5 kohlenſaures Kali, 2 Kochſalz, 5 flüſſiges Ammoniak, 1 Chlorſilber. Die Löſung wird $^1/_2$—$^3/_4$ Stunden gekocht und dann decantirt. Dieſe Methode iſt vielfältig in die Werkſtätten übergegangen und es wird dabei die gewöhnliche Cyangoldkaliumlöſung angewendet, unter Zuſatz von etwas Aetzkali oder Natron, und kleinere Gegenſtände, Löffel u. dgl., nur allſeitig mit weichen Meſſingdraht locker umwickelt. Frankenſtein hat auf dieſe Weiſe (Dingler's Journal, 90. Band, aus Inneröſtreichiſchem Gewerbeblatt.) ein Kirchthurm-Kreuz nebſt Knopf ſtückweiſe vergoldet, von zuſammen 50 □Fuß Oberfläche je mit 3—4 Eintauchungen von 5—10 Minuten und dazu 25 Ducaten niedergeſchlagen. Die Goldhaut war nach ſolcher Behandlung matt, was auch bei $^1/_2$ Ducaten pr. Quadratfuß immer eintritt. Eine ſolche Vergoldung kommt nach den früher angeführten Unterſuchungen von Dumas einer beſſern Feuervergoldung gleich *). Becquerel hat (Dingler's Journal, 92. Bd., Comptes rendus, März. 1844, Nr. 2.) zahlreiche Verſuche über die Fällung der Metalle und ihrer Löſungen durch andere Metalle gemacht, ſelbſt auf Zink, die er zum Theile wenigſtens den durch Unreinigkeiten im käuflichen Zink hervorgerufenen galvaniſchen Strömen zuſchreibt. Adhärirende Metallniederſchläge erhält er jedoch vorzugsweiſe nur unter Berührung mit Zink, und wenn das zu fällende Metallſalz mit einem Alkaliſalze zu einem möglichſt neutralen Doppelſalze verbunden war. In ſaurer Flüſſigkeit erhält man auch bei Anwendung beſonderer Zerſetzungszellen keine anhaftende Niederſchläge. Schließlich ſey hier noch der Beſtrebungen erwähnt, Seidenfäden oder Seidengewebe galvaniſch zu vergolden, worauf — freilich ohne Beeinträchtigung ihrer Biegſamkeit und ihrer Stärke — der preußiſche Gewerbverein einen Preis ſetzte, der aber bis jetzt, meines Wiſſens, noch nicht gewonnen wurde.

183 **Aetzen durch Galvanismus.** Spencer ſcheint dieſen Gedanken zuerſt verfolgt zu haben, er nahm darauf im Auguſt 1840 ein Patent. Das Aetzen nahm er in einer beſondern Zelle vor, wo die zu ätzende Platte von der entgegenſtehenden Kupferplatte durch eine poröſe Scheidewand getrennt war und als Anode diente. Bei der als Kathode dienenden Kupferplatte wurde ſtets Kupfervitriol, bei der zu ätzenden Platte aber eine nach dem Metalle verſchiedene Flüſſigkeit angewendet (Dingler's Journal

*) Bei der Umwicklung mit Meſſingdraht, an deſſem Ende etwas Zink iſt, fällt die Vergoldung röthlich aus, wohl in Folge der Auflöſung des Kupfers aus dem Meſſing. Eiſen habe ich ſo ohne vorherige Verkupferung vergoldet.

80. Bd.). Man wendete für Kupfer verdünnte Schwefelſäure an; allein es ſcheint nicht, daß dieſes Verfahren wirklich in die Praxis überging, da, nach Haſſe (Dingler's Journal 84. Bd., aus Verhandlungen des Vereins für Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen 1841, 5), die Aetzung gegen den Rand hin immer ſtärker iſt als in der Mitte, und derſelbe Uebelſtand um ſolche Stellen herum ſich wiederholt, die man gedeckt hat, weil ſie tief genug geätzt waren. Grove (Dingler's Journal 82. Bd., aus Philosophical Magazine Sept. 1841) ätzte Daguerreotypplatten auf folgende Weiſe: Er nahm eines ſeiner Elemente, deſſen Platten ſo groß waren als die zu ätzende Platte, brachte dieſe in einen hölzernen Rahmen in 0,2 Zoll Abſtand, einer Smee'ſchen verplatinten Platinplatte gegenüber, und tauchte dieſes in verdünnte Salzſäure während 25—30 Secunden, nachdem vorher die Verbindung mit dem Elemente hergeſtellt war. Die Daguerreotypplatte wurde vorher am Rande und hinten mit Schellack gefirnißt und nach dem Aetzen in Ammoniaklöſung mit Baumwolle ſachte gewaſchen, in reinem Waſſer geſpült und getrocknet. Die feinſten Linien waren zwar verſchwunden, allein die Platte gab doch gute Abdrücke. Grove hält ſie jetzt beſonders geeignet zu galvanoplaſtiſchen Abzügen, um dann mit dieſen zu drucken.

Um die gleiche Zeit haben ſich auch Steinheil in München und Fizeau in Paris mit dem Aetzen von Daguerreſchen Platten beſchäftigt. Die Platten von Fizeau hielten 30—40 Abdrücke aus.

Nobili's Ringe. Die Verſuche Nobili's ſind älter als die 184
Periode, auf welche ich mich beſchränke, und gehen zum Theil bis zum Jahre 1826 zurück. Er verfolgte die Sache mit vielen Flüſſigkeiten und auf Platten von ſehr verſchiedenem Metalle bald am poſitiven, bald am negativen Pole. — Eine tabellariſche Zuſammenſtellung der Verſuche von Nobili findet ſich in Poggd. Annal. Bd. X u. daraus in Dingler's Journ. 94. Bd.

Nobili hatte die ſchönſten Farben aus eſſigſaurem Blei erhalten, wenn er die Metallplatte am poſitiven Pole anbrachte und den negativen Pol in die Flüſſigkeit tauchen ließ. Er ſoll auch monochromatiſche Ueberzüge zu Stande gebracht, aber dieſes Niemanden mitgetheilt haben. Böttger gelang es, ſolche Ueberzüge auf Platin zu erhalten aus verſchiedenen Manganoxydulſalzen (hippurſaurem, eſſigſaurem, bernſteinſaurem), wobei die am poſitiven Pole angebrachte Platinplatte in die Löſung gelegt und die negative, ebenfalls kreisförmige Platte ihr gegenüber gehalten wurde. Daß auch der negative Pol in eine Platte endige, ſei aber nicht nöthig; man erhalte mit den genannten Salzen nur einfarbige, nach und nach die Farbe wechſelnde Töne, wenn auch nur ein Platindraht angewendet werde, und könne den Verſuch bei einer beliebigen Farbe unterbrechen. Nur

Manganchlorür gab farbige Ringe, wie eſſigſaures Blei. Böttger hatte in ſeinen Löſungen 1 Theil Salz auf 12—16 Theile Waſſer und eine vierelementige Säule. Böttger gab auch zur bequemern Ausführung an, man ſolle einen kurzen Platindraht in die Mitte einer runden Platinplatte löthen und eine Glasſchale in der Mitte durchbohren und dieſen Draht durch Kork durch die Oeffnung führen, ſo daß er kurz über den äußern Boden der Schale hervorrage und die Platinplatte in der Mitte des inneren Bodens liege. Die Glasſchale ſoll ſodann auf ein Brett mit eingebohrtem Queckſilbernapf geſtellt werden, in welchen der Draht der Schale und durch das Brett ein anderer Draht reiche, um ſo den poſitiven Strom einzuleiten.

Elsner (Gewerbeblatt für Sachſen 1842 Nr. 29; Dingler's Journ. 85. Bd.) wendete Fechner's einfaches Verfahren, Nobiliſche Ringe zu erzeugen, auf Stahlplatten an; er begoß ſie mit ſaurem eſſigſauren Kupfer (Grünſpanlöſung in Eſſig), berührte ſie an verſchiedenen Stellen mit einem Zinkſtäbchen, trocknete ſie ab und erwärmte ſie über einer Weingeiſtlampe, wobei ſich verſchiedene Farben nach und nach entwickeln, und man bei einer beliebigen Farbe innehalten kann. Den dem Aufſatze beigefügten theoretiſchen Betrachtungen ſcheinen nicht gerade klare Gedanken zu Grunde zu liegen, und ſie können daher um ſo eher umgangen werden.

Becquerel wiederholte (Comptes rendus, Fevrier 1844 N. 6.; Dingler's Journ. 91. Bd.) die Verſuche von Nobili auf mannigfaltige Weiſe und fand namentlich prachtvolle Farbenniederſchläge auf verſchiedene Metalle, wobei er dieſe als poſitive Pole in eine Löſung von Bleiglätte in Aetzkali brachte und als negativen Pol einen Platindraht oder eine kleine Platinplatte anwandte. Es ſcheidet ſich am Platin Blei und am poſitiven Pole Bleihyperoxyd ab, welches die prächtigen Farbenreihen giebt. Becquerel kochte die fein gepulverte Bleiglätte längere Zeit in einer Aetzkalilöſung von 20—22 Grad Baumé und nahm ſechs Daniell'ſche Elemente zur Säule verbunden. Die Farben entwickeln ſich jedoch bei ſchwächeren Löſungen und weniger Elementen ſehr ſchnell, wenn man kleine Platinbleche anwendet; nur bei ganz feinen in Glas bis an die Spitze eingeſchmolzenen Platindrähten ſind mehr Elemente nöthig; man erhält aber dabei auch die Ringe ſchöner rund.

Becquerel will durch Anwendung vieler Drähte, die wie Strahlen aus der Glasröhre aus einander und gegen die poſitive Metallplatte laufen, gleichförmige Töne erhalten haben. Dieſe Farben halten ſehr feſt gegen feinere Putzmittel, wie Engliſchroth, verändern ſich aber, wenn ſie ſauren oder ammoniakaliſchen Dämpfen ausgeſetzt ſind. Becquerel empfiehlt dagegen folgenden Firniß, von dem man warm nach einander zwei Schichten auftragen ſoll: ½ Litre Leinöl, 4—8 Gramm fein gepulverte Bleiglätte und 2 Gramm Zinkvitriol werden mehrere Stunden

lang mäßig erhitzt und dann filtrirt. Allein nach Becquerel's eigener Angabe verändern ſich dabei einzelne Farben. Das Gleiche iſt der Fall bei Schellackfirniß. Becquerel hat Verſuche mit Gold, Kupfer, Silber (gab keine ſchönen Farben), Platin, Argentan, Stahl angeſtellt; auch auf Glockenmetall gehen dieſelben ſehr gut, Zinn bedarf jedoch vorher einer, wenn auch noch ſo dünnen Vergoldung.

Der jüngere Becquerel hat (Ann. de Chim. et de Phys., März 1845, Dingler's Journal 96. Bd.) darauf aufmerkſam gemacht, daß die Farbenordnungen, die man ſo erhalte, jenen des durchgelaſſenen Lichtes entſprechen, und auch behauptet, die Dicke der Schichten vom Mittelpunkte der Ringe aus nehme im umgekehrten Verhältniſſe der Halbmeſſer ab. Zur Nedden (Dingler's Journal 94. Bd.) ſuchte nun die Anſicht zu beſtreiten, als rührten dieſe Farben überhaupt von den »dünen Blättchen« her, und will ſie von den Farben der niedergeſchlagenen Verbindungen und der Metalle ableiten. Allein, wenn man auch den Einfluß dieſer beiden Urſachen auf den Ton der einzelnen Farben nicht beſtreiten will, ſo ſind die Farbenordnungen, wie man ſie z. B. auf Argentan erhält, verglichen mit jenen eines keilförmigen Gypsblättchen, doch ganz unzweifelhaft jene, die man bei gekreuzten Spiegeln des Polariſationsapparates erhält.

Gegen die oben angeführte Behauptung Edmund Becquerel's, daß die Dicke der Schichten umgekehrt wie die Halbmeſſer der Ringe ſich verhalte, welche Becquerell auf theoretiſche Betrachtungen gegründet und an zwei ausgeſuchten Platten durch Meſſungen beſtätigt gefunden, traten Du Bois-Reymond und Benz auf (Poggd. Annal. 71. Bd.); Erſterer leitete aus einer genauern theoretiſchen Unterſuchung das Geſetz ab, daß die Dicke der durch die elektriſchen Ströme in verſchiedenen Entfernungen von der negativen Spitze niedergeſchlagenen Schichte umgekehrt wie die Kuben der Halbmeſſer ſich verhalten müſſe, und Benz wies durch Verſuche nach, daß dieſes wirklich ſo ſei. Der Widerſpruch der beiderſeitigen Verſuche iſt noch nicht gelöſt.

Die prachtvollen Farben, die man auf die angegebene Weiſe erhält, werden bereits in den Gewerben benutzt zum Ueberzuge von Tiſchglocken, Fidibusbechern und andern kleinen aus Meſſing gedrückten Waaren. Man bereitet dabei die Bleioxydätzkalilöſung aus 1 Aetzkali auf 5 — 6 Waſſer, bringt es nebſt fein gemahlener Bleiglätte im Ueberſchuß in einem irdenen Gefäß ins Kochen und unterhält dieſes etwa ½ Stunde lang unter beſtändigem Umrühren, worauf die Löſung filtrirt und in einem wohl verſchloſſenen Gefäße aufbewahrt wird. Beim Gebrauch gießt man die Löſung in ein Gefäß von Blei oder Meſſing, das den zu überziehenden Gegenſtand ſehr bequem faſſen kann, verbindet dieſen mit dem poſitiven Pole einer dreipaarigen Daniell'ſchen Kette, ſenkt ihn in die Bleilauge und verbindet jetzt erſt

den negativen Pol mit der Außenſeite des Gefäßes. Man muß die Stromſtärke mittelſt der Ladungsflüſſigkeiten durch einige Verſuche ſo reguliren, daß die Bildung der Ringe — wovon übrigens gewöhnlich nur die zwei erſten Syſteme ſchön entwickelt werden — etwas langſam geſchieht, damit man ſicherer bei einer beſtimmten Färbung den Strom unterbrechen kann. Meſſingene Gegenſtände machen hierbei inſofern eine Ausnahme, als ſie nur nach und nach mit dem ſcharfem Rande voraus in die Löſung bei ſchon geſchloſſener Kette geſenkt werden dürfen, wie ſchon Becquerel bemerkt hatte. Alle Gegenſtände müſſen rein geputzt ſein, entweder mit Wienerkalk oder mit Engliſchroth, und dürfen nach dem Putzen nicht mehr mit den bloßen Fingern berührt werden. Firniß wird gewöhnlich nicht angewendet.

185 **Gewinnung der Metalle aus ihren Erzen auf galvaniſchem Wege.** Dieſe Aufgabe hatte ſich vorzugsweiſe Becquerel geſtellt; allein ſo großartig die von ihm anfänglich eröffneten Ausſichten waren, um ſo bedeutend er von verſchiedenen Seiten durch Zuſendungen unterſtützt worden zu ſein ſcheint, ſo iſt doch im Ganzen kein erkleckliches Reſultat gewonnen worden. So läßt ein Bericht in den Comptes rendus von 1840 (Dingler's Journal 77. Bd.) die Vortheile des neuen Verfahrens im glänzendſten Lichte erſcheinen, allein obwohl von gar mancherlei elektriſchen Wirkungen geſprochen wird *), ſo erfährt man über den in Rede ſtehenden Gegenſtand eigentlich weiter nichts, als daß die Methode nach den Erzen verſchieden ſei, und daß eine geringe Röſtung vorhergehen müſſe, wenn das Erz nicht reguliniſches Silber oder Silberſulphurid enthalte, denn auf Silbererze beſchränkt ſich die Sache vorerſt, allein es ſollte auch der Reihe nach an die andern Metalle kommen. Ueberhaupt hat Becquerel die Art, durch Hereinziehen von zur Sache ganz und gar nicht gehörigen Ausſchweifungen das Verſtändniß ſeiner Aufſätze außerordentlich zu erſchweren und die Geduld des Leſers zu ermüden.

In einer ſpäteren Nachricht der Comptes rendus von 1842 1. Semeſter Nr. 4 (Dingler's Journal 84. Bd.) kommt Becquerel nach einer

*) Zur Probe: Verſuche, welche ſich auf die Geſchwindigkeit der Elektricität gründen (dieſe Geſchwindigkeit beträgt über 90,000 Meilen in der Secunde, und iſt alſo größer als die des Lichtes), haben gezeigt, daß die mit den Atomen der Körper verbundene Quantität Elektricität ungeheuer groß iſt. Die Elemente eines einzigen Grammes Waſſer ſcheinen nach den Verſuchen eines berühmten Phyſikers 80,000 Ladungen einer elektriſchen Batterie zu enthalten, die aus acht gleichen Flaſchen von 0,2 Meter Höhe und 0,6 Meter Umfang beſteht, wozu 30 Umdrehungen einer kräftigen Elektriſirmaſchine erforderlich ſind. Wenn alſo nur dieſe ganze Menge von Elektricität plötzlich frei würde, ſo wäre ſie hinreichend, ein Haus mit dem ſchrecklichſten Knalle zu zertrümmern u. ſ. w.

ähnlichen Einleitung an ſeine Verſuche, Gold auszuſcheiden. Sein Verfahren iſt folgendes: man bereitet eine Löſung des Erzes in Salzſäure und eine andere ſalzſaure Löſung, welche alle übrigen mit dem Golde vorkommenden Metalle in demſelben Verhältniſſe enthält, wie ſie ſich im Erze finden, beide Löſungen von gleicher Dichtigkeit; dieſe beiden Löſungen dienen als erregende Flüſſigkeiten einer einfachen Kette, die Goldlöſung in dem innern Gefäße mit einem Thonpfropfen als Boden und einer Platinplatte, die der andern Metalle im äußern Gefäß mit einer Kupferplatte. Die Kette werde ſo lange geſchloſſen, bis alles Gold auf das Platin abgelagert ſey. Aus der Gewichtszunahme des Platins ſchloß Becquerel auf die Menge des Goldes. Es möchte jedoch die Gewinnung des Goldes vom Platin bei der Anwendung im Großen wieder mancherlei Schwierigkeiten haben, wenn man auch nicht darauf ausgehen wollte, die Goldlöſung jedesmal ganz zu erſchöpfen.

Ein ähnlicher Vorſchlag wurde ſchon früher (Dingler's Journal 80. Bd., aus dem Mechanics Magazine N. 911) von einem Hrn. Byer gemacht, dem aber Martin Roberts die Priorität beſtritt, jedoch mehr in der Abſicht, Erze quantitativ zu probiren, nachdem ihre qualitative Analyſe bekannt iſt. Das Erz wird nach gehöriger Zubereitung gelöſt und die Löſung als die eine Flüſſigkeit, verdünnte Salz- oder Schwefelſäure als die andere in einer einfachen Kette verwendet. Als Metalle ſollen immer nur zwei in der Spannungsreihe zunächſt ſtehende genommen werden, und zwar als negatives dasjenige Metall, welches ausgefällt werden ſoll. Hat man z. B. unter Anderm Eiſen in der Flüſſigkeit, ſo wird Eiſen und Zink genommen, und eine gewogene Portion Erzlöſung zur gewogenen Eiſenplatte gebracht und die Kette bis zur Erſchöpfung an Eiſen, welches ſich allein auf der Eiſenplatte niederſchlagen ſoll, geſchloſſen. Hat man Kupfer in der Löſung, ſo nimmt man Kupfer und Eiſen, und ſo könne man ſucceſſive verſchiedene Metalle ausſcheiden und aus der Gewichtszunahme des negativen Metalls die Menge beſtimmen.

In den Comptes rendus, Mai 1846 (Dingler's Journal 101. Bd.), giebt Becquerel ein Verfahren an, einige in Waſſer unlösliche Silbererze zu zerſetzen. Er bringt dieſelben mit einer Kochſalzlöſung in ein mit dem unvermeidlichen Thonpfropfen verſehenes Glas, welches in ein zweites Glas mit Kochſalzlöſung geſtellt wird; in letzterem ſteht Zink, von welchem ein Silberdraht zu dem Erze reicht. Das Silber wird reducirt, indem das durch Zerſetzung des Chlornatriums frei gewordene Natrium das Chlor des Chlorſilbers z. B. aufnimmt und ſo das Silber in einem mehr oder weniger lockern Zuſtande zurückläßt. Das Silber war um ſo compacter, je ſchwächer der Strom war, d. h. je verdünnter die Kochſalzlöſung und je enger die mit Thon zu verſtopfende Oeffnung genommen wurde;

es dauerte aber immer eine bis mehrere Wochen, bis ein nur mäßiges Stück Silber reducirt war.

Allein auch hier war Becquerel nicht der Erſte, der dieſe oder doch eine ſehr ähnliche Methode bekannt machte, indem der Mechanikus und Goldprobirer Oechsle in Pforzheim ſchon 1842 im 86. Bande von Dingler's Journal folgende Methode zur Reducirung des Chlorſilbers angab. Chlorſilber wird mit einer geſättigten Kochſalzlöſung zu einem dicken Brei angerührt und dieſer in eine poröſe Zelle gebracht, welche in einem Gefäße mit auf $1/20$ verdünnter Schwefelſäure ſteht; in letztere kommt Zink, zum Chlorſilber Platin oder Silber, und man läßt die Kette ſo lange geſchloſſen, bis beim Umrühren ſich in dem grauen Silberſchlamm keine milchichten Streifen mehr zeigen, wäſcht dann aus und trocknet. Ein ähnliches Verfahren iſt dann wieder in Poggendorf's Annalen 1848 Nr. 11 beſchrieben.

James Nappier (Dingler's Journal 97. Bd., aus Repertory of Patent-Inventions, Juli 1845) will die Metalle im geſchmolzenen Zuſtande reduciren, indem er die Schwefelmetalle geröſtet mit den nöthigen Flußmitteln in einen Graphittiegel bringt, der innen mit Ausnahme des Bodens mit Lehm überſtrichen wurde. Wenn alles im Fluſſe iſt, bringt er auf die Maſſe eine an einen Eiſenſtab genietete Eiſenplatte und außen an den Tiegel einen andern Eiſenſtab, beide in Verbindung mit den betreffenden Polen einer Batterie.

Um Kupfer metalliſch zu gewinnen, nahm William Ritchie 1844 Patent auf ein Verfahren, welches in der Hauptſache mit dem in den Comptes rendus von 1845 von Dechaud und Gautier de Claubry beſchriebenen übereinkommt (beide in Dingler's Journal 97. Bd.) und im Weſentlichen darin beſteht, aus den Schwefelverbindungen des Kupfers Kupfervitriol zu gewinnen und dieſen galvaniſch zu zerſetzen. Der Apparat hierzu beſteht in großen Trögen mit mehrern Abtheilungen hinter einander, deren jede durch Pappe in zwei Theile getheilt iſt, in deren einem Kupfervitriol und eine Bleitafel — verbleites Eiſenblech —, in der andern Eiſenvitriol und eine gußeiſerne Platte ſtehen, die zuſammen eine einfache Kette bilden. Die Erfinder glauben auf jeden Quadratmeter Platte in 24 Stunden ein Kilogramm Kupfer zu erhalten und von dem in der Löſung befindlichen Kupfer 50 Proc. in Platten, 25 Proc. in Körnern und den Reſt in fein zertheiltem Zuſtande zu erhalten. Die Flüſſigkeiten werden den Apparaten aus großen Behältern ſtets in der erforderlichen Concentration zugeführt, ſo wie die geſchwächte Kupfervitriollöſung und die geſättigte Eiſenvitriollöſung ſtets abgeführt. Ueber den eigentlichen Nutzen dieſes Verfahrens mangeln bis jetzt noch genauere Angaben.

Sechster Abſchnitt.

Magnetismus und Elektromagnetismus.

Tragkraft hufeiſenförmiger Magnete. Ueber die Tragkraft huf- 186
eiſenförmiger Magnete hat Häcker in Nürnberg zahlreiche Verſuche angeſtellt und in Poggendorff's Annalen veröffentlicht (57. Bd. S. 321).

In der Regel nimmt die Tragkraft der Magnete in Folge wiederholten Abreißens des Ankers ab; ſobald dies der Fall iſt, kann natürlich von einer conſtanten Tragkraft des Magnetes keine Rede ſein, denn eine ſolche iſt diejenige, welche ihm bleibt, wenn auch der Anker wiederholt abgeriſſen wird. Häcker hat nun Magnete dargeſtellt, welche in der That die Eigenſchaft haben, einen gewiſſen Grad von Magnetismus unverändert beizubehalten, wie oft man auch den Anker abreißen mag.

Ueber die conſtante Tragkraft ſolcher Magnete hat er zahlreiche Verſuche angeſtellt, unter denen wir folgende hervorheben, welche ſämmtlich mit Hufeiſenmagneten angeſtellt wurden, die nur aus einer einzigen Lamelle beſtehen.

Gewicht des Magneten.	Tragkraft.
1 Loth.	1 Pfund.
4 »	3 »
8 »	4,8 »
16 »	7 »
1 Pfund.	12 »
2 »	18 »
4 »	26 »
7 »	42 »
12 »	65 »
20 »	100 »
40 »	150 »

Die Tragkraft ſämmtlicher Magnete wird größer ſein und faſt das Doppelte betragen, wenn der Anker nach dem Magnetiſiren nicht abſichtlich mehrmals abgeriſſen worden wäre. In dieſem Falle iſt jedoch die Kraft nicht conſtant, ſondern nur vorübergehend.

Man ſieht aus obiger Tabelle ſehr deutlich, daß die Tragkraft des Magneten keineswegs der Maſſe proportional wächſt, ſondern daß ſie für größere Magnete verhältnißmäßig geringer wird. So trägt ein Magnet von 1 Loth das 32fache, ein Magnet von 40 Pfund nur etwas mehr als das 3fache ſeines Gewichtes.

Häcker hat nun noch kleinere Magnete gemacht, ein ſolcher, welcher

1/16	Loth	ſchwer	war,	trug	7	Loth.
1/32	»	»	»	»	4	»
1/64	»	»	»	»	2,5	»
1/120	»	»	»	»	1,8	»

Das Verhältniß des Tragkraft eines Magneten zu ſeiner Maſſe hat Häcker durch die Formel

$$M = a \sqrt[3]{P^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

ausgedrückt, in welcher M die Tragkraft und P das Gewicht des Hufeiſenmagneten bezeichnet, a aber ein conſtanter Factor iſt, für welchen man als Mittel aus den beſten Verſuchen Häcker's den Zahlenwerth 40 ſetzen muß, wenn P und M in Lothen, hingegen 12,6 wenn ſie in Pfunden ausgedrückt ſind. Nach dieſer Formel berechnen ſich folgende zuſammen gehörige Werthe von Gewicht und Tragkraft der Häcker'ſchen Hufeiſenmagnete.

Gewicht.		Tragkraft.			
4	Loth.	3	Pfund	4	Loth.
8	»	4	»	31	»
16	»	7	»	28	»
1	Pfund.	12	»	17	»
2	»	19	»	28	»
4	»	31	»	19	»
7	»	45	»	28	»
12	»	65	»	22	»
20	»	92	»	12	»
40	»	146	»	18	»
60	»	192	»	5	»
100	»	270	»	3	»
1000	»	1253	»	24	»
1972	»	1972	»	—	»

Dem durch obige Formel ausgedrückten Gesetze ganz entsprechend ist die Tragkraft eines aus mehreren Lamellen zusammengesetzten Magneten, nicht die Summe der Tragkräfte der einzelnen. Fünf zehnlöthige Lamellen, deren jede eine Tragkraft von 3,7 Pfund hatte, zu einem einzigen Magneten vereinigt, hatten nur eine Tragkraft von 10,5 Pfund, während die Summe der Tragkräfte der einzelnen Lamellen 18,5 beträgt.

Wenn auch die Häcker'schen Magnete durch wiederholtes Abreißen des Ankers nicht an Kraft abnehmen, so wird ihr Magnetismus doch durch mancherlei Einwirkungen geschwächt. Man darf den Magneten nicht erhitzen, nicht fallen lassen, nicht durch Schlagen oder Stoßen erschüttern ꝛc. Das Anlegen des Ankers ist zu empfehlen, überflüssig aber ist es, daß der Magnet stets belastet sei.

Häcker giebt über die Art, wie er seine Magnete verfertigt hat, über das Material, aus denen sie gemacht wurden, über Härtung und Anlassen gar nichts an; jedenfalls sind seine Magneten von ausgezeichneter Qualität, und wenn andere schlechtere Magnete der Art nach auch ähnliche Resultate geben, d. h. wenn auch für sie die Gleichung 1) gilt, so ist doch sicherlich der Werth des Factors a von der Natur der Stahlsorte und von dem Grade der Härtung abhängig. Sehr wünschenswerth wäre es, wenn wenigstens für mehrere Stahlsorten der Werth von a, wie er den verschiedenen Graden des Anlassens entspricht, genau ermittelt würde. Jedenfalls liefert uns die Häcker'sche Untersuchung ein treffliches Material, um die Güte eines Magneten zu beurtheilen.

Logeman und Wetteren in Harlem haben es in der Darstellung kräftiger Stahlmagnete noch weiter gebracht. Vor kurzem schickte mir Herr Logeman einen Hufeisenmagneten, der bei einem Gewicht von nicht ganz 1 Pfund (460 Gramm) eine Tragkraft von 26 Pfund (13 Kilogramm) hat, also mehr als das doppelte von dem, was man nach der Formel berechnet; jedenfalls sind demnach die Magnete der Harlemer Mechaniker die kräftigsten, welche bis jetzt dargestellt wurden.

»Die Art und Weise der Verfertigung«, schreibt mir Herr Logeman, »ist das Resultat der in der letzten Zeit von Herrn Elias angestellten »und absichtlich noch nicht veröffentlichten Versuche«.

Mir scheint die größte Schwierigkeit, welche sich der Herstellung kräftiger Elektromagnete entgegengestellt, die Darstellung eines geeigneten Stahles zu seyn. — Jedenfalls muß der Stahl sehr hart seyn, weil er sonst nur eine geringe Coercitivkraft hat. Früher konnte man so harten Stahl nicht leicht magnetisiren, jetzt aber, wo man an den Elektromagneten die kräftigsten Magnetisirungsmittel hat, bieten sich von dieser Seite her keine Schwierigkeiten mehr.

187 **Verſuche über die Schwingungsdauer geradliniger Magnetſtäbe.** In demſelben Aufſatze theilt Häcker auch ſeine Verſuche über die Schwingungsdauer geradliniger Magnetſtäbe mit. Aus denſelben folgt, daß innerhalb gewiſſer Gränzen die Schwingungsdauer bei gleichem Querſchnitt der Quadratwurzel aus der Länge und bei gleicher Länge der Kubikwurzel aus dem Gewichte des Magnetſtabes proportional iſt. Daraus ergiebt ſich dann zwiſchen der Schwingungsdauer T, dem Gewichte P und der Länge L eines Magnetſtabes folgende Beziehung:

$$T = c \sqrt[3]{P} . \sqrt[2]{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

wo c einen conſtanten Factor bezeichnet, der für die Häcker'ſchen Magnetſtäbe den Werth 2,67 hat, wenn L in pariſer Zollen und P in Lothen (bairiſch; das bairiſche Pfund = 560 Gramm), ausgedrückt iſt. In der folgenden Tabelle iſt die beobachtete Schwingungszeit mehrerer Magnetſtäbe mit den nach obiger Formel für $c = 2{,}67$ berechneten, zuſammengeſtellt.

Länge	Gewicht	Schwingungsdauer	
des Stabes.		beobachtet.	berechnet.
3 Zoll	1,06 Loth	3,26 Sec.	3,26 Sec.
6 »	2,31 »	4,62 »	4,74 »
9 »	3,31 »	5,60 »	5,71 »
9 »	8,5 »	8,23 »	7,83 »
12 »	3,75 »	6,61 »	6,25 »
12 »	11 »	9,23 »	8,95 »

Bei den ſtärkſten Magnetſtäben, welche Häcker ſpäter noch darſtellte, brachte er den Factor c bis auf 2,35 herunter.

Die Form des Querſchnittes der Stäbe iſt hier ohne Einfluß, ſo lange man ſich nicht gar zu ſehr von den gewöhnlichen Dimenſionen entfernt, die Formel 2 gilt alſo eben ſo wohl für maſſive Cylinder als für hohle, und ſomit erklärt ſich leicht, warum bei gleichem Durchmeſſer hohle Cylinder ſchneller ſchwingen als maſſive.

Die Formel 2 giebt uns auch einen Anhaltspunkt, um die Stufe der Magnetiſirung verſchiedener Magnetſtäbe zu vergleichen. Ein Magnetſtäbchen z. B., welches ich unterſuchte, war 3,8 Zoll lang und wog 1,1 Loth. Daraus ergiebt ſich für $c = 2{,}67$ die Schwingungszeit $T = 4{,}29$, während jenes Stäbchen zu einer Schwingung 4,74 Secunden brauchte; es war alſo nicht ſo ſtark magnetiſirt wie die Häckerſchen.

Verhältniß der Tragkraft zur Schwingungszeit. An einer 188
Reihe von Magnetſtäben hat Häcker ſowohl die Schwingungsdauer, als auch die Tragkraft eines einzelnen Poles beſtimmt. Die folgende Tabelle giebt eine Zuſammenſtellung der Häcker'ſchen Beobachtungsreſultate mit den berechneten Werthen (P. A. LXII. 366).

Länge des Stabes.	Gewicht des Stabes.	Tragkraft eines Poles		Schwingungsdauer	
		beobachtet.	berechnet.	beob.	berechn.
2⅞ Zoll	0,25 Loth	7,5 Loth	7,9 Loth	1,80 Sec.	1,98 Sec.
2 »	0,815 »	17 »	17,4 »	2,39 »	2,79 »
3 »	1,062 »	22 »	21,0 »	2,76 »	3,27 »
4 »	1,594 »	30 »	27,9 »	3,25 »	3,92 »
6 »	2,125 »	30 »	33 »	4,34 »	4,62 »
5¹/₁₂ »	4,062 »	48 »	51 »	4,94 »	5,45 »
7½ »	8,500 »	76 »	83 »	6,80 »	7,49 »
12¾ »	34,500 »	200 »	212 »	11,8 »	13,26 »
17½ »	81,000 »	344 »	374 »	16,55 »	18,52 »

Die Tragkraft eines Poles wurde nach der Formel $M = a\sqrt[3]{P^2}$ berechnet, indem für a der Werth 20 eingeführt wurde. In der That ſtimmen die berechneten Werthe ſo genügend mit den beobachteten überein, daß dadurch die Gleichung 1) auch für dieſen Fall gerechtfertigt erſcheint, nur müßte man den Factor a etwas kleiner annehmen; als Durchſchnittswerth ergiebt ſich aus obigen Beobachtungen $a = 19{,}5$.

Aus dem Umſtande, daß der in der Formel $M = a\sqrt[3]{P^2}$ zu ſetzende Werth von a ſich hier, wo es auf die Berechnung der Tragkraft eines Poles ankam, faſt halb ſo groß iſt, als der Werth, den wir bei der Berechnung der geſammten Tragkraft eines Hufeiſenmagneten einzuführen hatten, könnte man zu der Meinung verleitet werden, als ob die Tragkraft eines Poles die Hälfte ſey von der geſammten Tragkraft eines Hufeiſenmagneten. Ein Hufeiſenmagnet trägt aber, wenn die beiden Pole durch einen eiſernen Anker verbunden ſind, wie auch leicht begreiflich, weit mehr als das doppelte von dem, was jeder einzelne Pol für ſich zu tragen im Stande iſt. Wenn alſo Häcker für die Tragkraft des einen Poles eines Magnetſtabes a halb ſo groß gefunden hat, als früher für die geſammte Tragkraft eines Hufeiſenmagneten, ſo müſſen wir wohl annehmen, daß dieſe Magnetſtäbe zu einer weit höheren Stufe magnetiſirt waren, als ſeine Hufeiſenmagnete, wofür auch die Bemerkung Häcker's ſpricht: »daß dieſe Tragkraft der Stäbe das äußerſte war, wozu dieſelben nur mit großer Mühe gebracht werden konnten.«

Bei der Berechnung der Schwingungsdauer wurde die Gleichung 2) mit dem Factor $c = 2{,}67$ angewandt, da aber die berechneten Werthe der Schwingungsdauer ſämmtlich größer ſind, als die beobachteten, ſo ergiebt ſich, daß die zuletzt beſprochenen Magnetſtäbe ſchon ſtärker magnetiſirt waren, als diejenigen, mit welchen die auf Seite 476 beſchriebenen Verſuche angeſtellt worden waren.

Mit dem letzten Stab der vorigen Tabelle machte Häcker Verſuche bei verſchiedenen Graden der Magnetiſirung. Folgendes ſind die zuſammengehörigen Werthe von M und T:

M	T	MT^2
344 Loth	16,55 Sec.	93256
264 »	19,10 »	95360
176 »	23,47 »	96976
136 »	26,45 »	95064
	Mittel	95164.

Die dritte Columne enthält das Product von M und T^2. Der Werth für dieſes Product iſt nahezu ſtets derſelbe, ſo daß ſich aus dieſen Verſuchen das Reſultat ergiebt, daß ſich die Tragkraft eines Poles eines Magnetſtabes umgekehrt verhält wie das Quadrat ſeiner Schwingungszeit.

Im Durchſchnitt haben wir $MT^2 = 95164$. Setzen wir nun für M und T ihre Werthe, aus Gleichung 1) und 2), ſo kommt

$$a\,c^2\,\sqrt[3]{P^2}\,(\sqrt[6]{P}.\sqrt[6]{L})^2 = 95164$$

$$a\,c^2\,\sqrt[3]{P^4}\,\sqrt[3]{L} \qquad = 95164$$

da aber für den fraglichen Stab $P = 81$ und $L = 17{,}5$, ſo iſt $\sqrt[3]{P^4} = 352$ und $\sqrt[3]{L} = 2{,}6$. Dividirt man auf beiden Seiten mit $352.2{,}6$ ſo kommt

$$a\,c^2 = 104.$$

Vermöge dieſer Relation zwiſchen den Factoren a und c kann man aus der Schwingungsdauer eines Magnetſtabes auf die Tragkraft eines Poles ſchließen. Für $c = 2{,}67$ ergiebt ſich $a = 16{,}97$; die auf Seite 476 beſprochenen Magnetſtäbe waren alſo in der That zu einer merklich geringeren Stufe magnetiſirt, als diejenigen, welche zu den auf Seite 477 angeführten Verſuchen dienten, und ſomit iſt auch gewiß, daß der Werth von a für die Tragkraft des einen Poles eines Häcker'ſchen Hufeiſenmagneten bedeutend kleiner iſt, als die Hälfte des Werthes von a, wenn es ſich um die geſammte Tragkraft eines ſolchen Magneten handelt.

Es wäre ſehr zu wünſchen, daß das Verhältniß zwiſchen der Tragkraft

eines Pols und der gesammten Tragkraft eines Hufeisenmagneten genauer untersucht würde.

Eine dritte Abhandlung Häcker's befindet sich im LXXIV. Bande von Poggendorff's Annalen; da sie jedoch nur magnetische Specialitäten behandelt, so darf hier wohl von einer näheren Besprechung derselben Umgang genommen werden; nur eine Bemerkung, welche Häcker am Schluß dieser Abhandlung macht, muß ich noch anführen. Er hat nämlich gefunden, daß man auch dem ungehärteten Stahl einen bleibenden constanten Magnetismus ertheilen könne. Ein Magnetstab, von ungehärtetem Stahl verfertigt, $7\frac{3}{4}$ Loth schwer und $16\frac{2}{3}$ Zoll lang, zeigte während eines Zeitraumes von 13 Monaten constant dieselbe Schwingungsdauer von 11,93 Secunden. Von diesem Mittel weichen die äußersten der 8 zu verschiedenen Zeiten gemachten Bestimmungen nur um 0,05 Secunden ab. Ein aus gehärtetem Stahl verfertigter Magnetstab von gleichen Dimensionen würde nach den obigen Formeln (für $c = 2{,}67$) eine Schwingungsdauer von 8,5 Secunden gehabt haben.

Magnetisirung von Stahlstäben. Die von Elias angegebene 189
Methode (P. A. LXII. 249) mittelst einer galvanischen Drahtspirale Stahllamellen zu magnetisiren, ist bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Band, S. 210) beschrieben worden. Böttger hat eine Abänderung dieser Methode angegeben (P. A. LXVII. 112), welche darin besteht, daß anstatt einer Spirale, deren zwei angewendet werden, so daß die beiden Pole der zu magnetisirenden Hufeisenlamelle gleichzeitig in diese Spiralen eingeschoben werden; außerdem aber wendet er Bandspiralen statt Drahtspiralen an.

Elias bestreitet (P. A. LXVII. 356), daß auf diesem Wege mehr geleistet werde, als nach seiner Methode. Er führt an, daß er an einem von Häcker verfertigten Hufeisenmagnet, welcher 0,657 Kilogramm (37,5 Loth) wog, und welcher, als er ihn von Häcker erhalten hatte, 8,25 trug, die Pole mittelst seiner Spirale umgekehrt habe. Nach dieser Umkehrung und nach 25maligem Abreißen des Ankers trug er 10 Kilogramm. Berechnet man nach der Gl. 1) auf S. 474 die Tragkraft dieses Magneten, so findet man 14 Pfund; Elias hat also dem Magneten mit seiner Spirale allerdings eine noch stärkere Tragkraft ertheilt, als diejenige, welche Häcker als das Maximum bezeichnet.

Wie stark der Strom war, den Elias zu dieser Magnetisirung anwandte, ist nicht angegeben.

Frick hat über die Elias'sche Magnetisirungsmethode kritische Versuche angestellt und sie mit dem Magnetisiren durch einen Elektromagneten verglichen (P. A. LXXVII. 537). — Seine Magnetisirungsspirale war

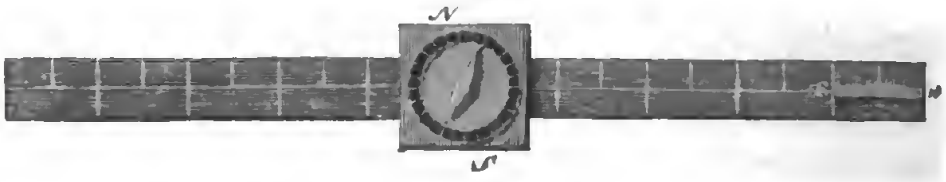
genau nach den Angaben von Elias conſtruirt, nur war die Oeffnung derſelben etwas größer. Mit einer vollkommen gleichen Drahtmenge (alſo 9 Meter Kupferdraht von 3''' Dicke) conſtruirt er nun auch einen Elektromagneten, indem er denſelben in gehöriger Weiſe um den beiden Schenkel eines Hufeiſens wickelte, welches aus einem 0,62 Meter langen und 27''' dicken Stab von weichem Eiſen gefertigt war.

Um mit dieſem Elektromagneten einen Stahlſtab zu magnetiſiren, wurde die eine Hälfte des Stabes mehrmals über den einen, die andere Hälfte eben ſo oft über den anderen Pol von der Mitte gegen das Ende hin gezogen.

In allen Fällen wurde mittelſt der Tangentenbuſſole die Stromſtärke beſtimmt, welche die Drahtwindungen durchlief; bei ſchwächeren Strömen war die Elias'ſche Spirale oder die Windungen der Elektromagneten gleichzeitig mit der Tangentenbuſſole eingeſchaltet, die natürlich in gehöriger Entfernung von der Stelle aufgeſtellt war, an welcher die Magnetiſirung vorgenommen wurde; wegen der durch dieſen Umſtand erforderlichen langen Verbindungsdrähte konnte man bei gleichzeitiger Einſchaltung der Spiralen und der Tangentenbuſſole keine ſehr ſtarke Ströme erhalten, deshalb wurde, wo ſolche angewendet werden ſollten, einmal die Spirale allein und dann die Tangentenbuſſole mit ſo viel Draht eingeſchaltet, daß der Widerſtand im Schließungsbogen derſelbe war, wie bei der Einſchaltung der Spirale.

Die Stärke des dem Stahlſtab ertheilten Magnetismus wurde dadurch beſtimmt, daß der Magnetſtab in der Fig. 159 angedeuteten Weiſe öſtlich

Fig. 159.



oder weſtlich von einer Buſſole gelegt wurde, und zwar ſo, daß der der Buſſole zugewendete Pol 0,6 Meter weit von der Mitte der Nadel war.

Betrachten wir zunächſt die Reſultate, welche mit zwei Stahlſtäben erhalten wurden, welche nahe gleich lang (ungefähr 3 Decimeter) waren und gleichen Querſchnitt hatten. Der eine *A* war glashart, der andere *B* bis zum verſchwindenden blau angelaſſen. — Die Stromſtärke iſt im Folgenden nach der auf S. 248 bezeichneten Einheit ausgedrückt. Die Verſuche wurden ſo angeſtellt, daß man jedesmal dieſelbe Stromſtärke durch die Elias'ſche Spirale gehen ließ und die damit hervorgebrachte Magnetiſirung des Stahlſtabs ermittelte, und dann ausfindig machte, wie ſtark

der Magnetismus ist, den man dem Stahlstab mit Hülfe des Elektromagneten ertheilen kann, wenn ein gleich starker Strom seine Windungen durchläuft.

Die Stärke des Stabmagnetismus ist ausgedrückt durch die Anzahl der Grade, um welche er die Bussolennadel ablenkt.

Stromstärke 98. Stab A.

Ursprünglicher Magnetismus	+ 13°
Zur Untersuchung in der Spirale hin- und hergeführt, konnte keine Umkehrung erreicht werden, die Stärke des Magnetismus wurde nur heruntergebracht auf	+ 1,5
Die Spirale zur Wiederherstellung des ursprünglichen Magnetismus angewandt, brachte ihn wieder auf	+ 9°
Der Elektromagnet kehrt ihn um bis auf	— 11°

Stromstärke 98. Stab B.

Ursprünglicher Magnetismus	+ 15°
Durch die Spirale umgekehrt	— 1
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 10,5
Durch den Elektromagneten umgekehrt	— 17,5

Stromstärke 160. Stab A.

Ursprünglicher Magnetismus	+ 10,5°
Durch die Spirale umgekehrt	— 5,5
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 10
Durch den Elektromagneten umgekehrt	— 13

Stromstärke 160. Stab B.

Ursprünglicher Magnetismus	+ 11,5°
Durch die Spirale umgekehrt	— 13,5
Durch den Elektromagneten umgekehrt	+ 15

Stromstärke 340. Stab A.

Magnetisirung durch den Elektromagneten. . . .	+ 19°
Durch die Spirale umgekehrt	— 10
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 15

Stromstärke 340. Stab B.

Magnetisirung durch den Elektromagneten	+ 20°
Umkehrung durch die Spirale.	— 18
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 20

Stromſtärke 430. Stab A.

Magnetiſirung durch den Elektromagneten	+ 19°
Umkehrung durch die Spirale	— 19
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 19

Stromſtärke 430. Stab B.

Magnetiſirung durch den Elektromagneten	+ 20°
Umkehrung durch die Spirale	— 20
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 20

Bei dieſem letzten Verſuche war der Strom ſo ſtark, daß die dicken Kupferdrähte ſo heiß wurden, daß zum Theil der Schellack in dem Seidenüberzuge ſchmolz, auch fühlte man beim Durchführen der Stäbe durch die Spirale einen ziemlich ſtarken Widerſtand.

Mit einigen anderen glasharten Stahlſtäben wurden ähnliche Reſultate erhalten.

Bei dem Magnetiſiren der Stahlſtäbe mittelſt der Spirale war das Verankern durch angelegte Stücke weichen Eiſens keineswegs verſäumt worden.

Aus dieſen Verſuchen geht nun hervor,

1) daß man, wo nicht ſehr ſtarke Ströme angewendet werden, bei gleicher Stromſtärke durch den Elektromagneten mehr erreicht, als durch die Spirale, und daß dieſer Unterſchied bei harten Stäben größer iſt, als bei angelaſſenen.
2) Daß es bei geringeren Stromſtärken nicht möglich iſt, den vorhandenen Magnetismus harter Stäbe durch die Spirale umzukehren, und daß ſelbſt bei ſtärkeren Strömen oder angelaſſenen Stäben, wo die Umkehrung mittelſt der Spirale möglich iſt, die umgekehrten Pole ſehr ſchwach bleiben, und ſelbſt beim Wiederumkehren nicht mehr die vorige Stärke erreichen, während das Streichen mit dem Elektromagneten viel leichter den Pol umzukehren vermag.
3) Daß aber der Unterſchied zwiſchen beiden Verfahrungsarten mit der Zunahme der Stromſtärke allmälig verſchwindet, die Sättigung durch den Elektromagneten aber ſchon bei geringerer Stromſtärke erreichbarer iſt, als durch die Spirale.

Es dürfte demnach vortheilhafter ſein, die gleiche Stromſtärke und gleiche Drahtmenge auf einen Elektromagneten zu verwenden, als auf eine Spirale, namentlich, wenn man harten Stahl magnetiſiren will.

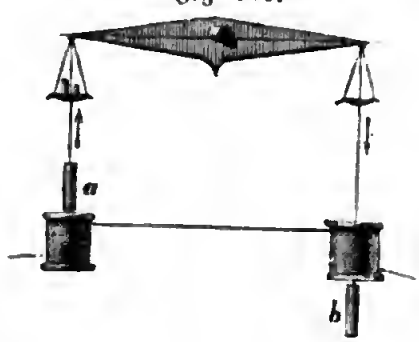
190 **Unterſuchungen über die Geſetze der Elektromagnete von Lenz und Jakobi.** Die genannten Petersburger Phyſiker ſtellten ihre Verſuche über die Geſetze der Elektromagnete zu einer Zeit an, in welcher die zu ſolchen Unterſuchungen erforderlichen Hülfsmitteln noch ſehr man-

gelhaft waren (die erſte hierher gehörige Abhandlung, aus dem Bull. scient. der Petersburger Akademie Thl. IV. entnommen, befindet ſich im XLVII. Bande von Poggendorff's Annal.), die Verſuche wurden im Anfange des Jahres 1838 angeſtellt, ſo daß ſie in der That große Hinderniſſe zu überwinden hatten. Vor allem war die Schwierigkeit, einen einigermaßen conſtanten Strom zu erhalten, ſtörend und durch ſie hauptſächlich iſt der Gang der Unterſuchung, wie wir ihn ſogleich werden kennen lernen, bedingt.

Als Elektromotor dienten 24 Zinkplatinelemente, welche nach Art der Wollaſton'ſchen Batterie conſtruirt waren, und auf verſchiedene Weiſe mit einander combinirt werden konnten.

Die Stromſtärke wurde durch eine Becquerel'ſche Wage gemeſſen, deren Einrichtung etwas modificirt worden war. Da dieſes Inſtrument jetzt wohl ſchwerlich noch zur Meſſung der Stromſtärke angewendet werden wird, ſo will ich ſeine Einrichtung nur ſo weit andeuten, als zum Verſtändniß der Lenz'ſchen Unterſuchung nothwendig iſt; Fig. 160 iſt eine ſchematiſche Darſtellung des Apparates. An den beiden Schalen einer guten Wage hängen von dünnen Drähten getragen die beiden Magnetſtäbe *a* und *b*, welche ganz gleich ſind, und beide den Nordpol nach Unten gerichtet haben. Zwei ganz gleiche, mit einander verbundene Drahtſpiralen ſind ſo angebracht, daß ſich die eine unter *a*, die andere über *b* befindet, und zwar ſo, daß die Höhlung der Spirale in der Verlängerung des Magnetſtabes liegt; man läßt nun den Strom in ſolcher Richtung durch die Spirale gehen, daß ſo wohl *a* als *b* abgeſtoßen werden, daß alſo der Wagebalken links gehoben und rechts geſenkt wird, wie es die Pfeile andeuten; durch Auflegen von Gewichten, welche dieſer Abſtoßung das Gleichgewicht halten, kann dann der Wagebalken in ſeiner horizontalen Stellung erhalten werden.

Fig. 160.



Um einen Strom von beſtimmter Stärke zu erhalten, verfuhren Lenz und Jakobi nun ſo, daß ein beſtimmtes Gewicht, z. B. 400 Gramm auf die Wagſchale gelegt, und dann die Plattenpaare tiefer und tiefer in ihre Tröge eingetaucht wurden, bis die Abſtoßung zwiſchen den Magneten und den Spiralen dieſen 400 Grammen das Gleichgewicht hielt. Das aufgelegte Gewicht iſt alsdann das Maß für die Stromſtärke. Um einen 2mal, 3mal ſo ſtarken Strom zu erhalten, werden 800, 1200 Grammen aufgelegt u. ſ. w.

Leider finden sich in der citirten Abhandlung nicht Data genug vor, und die so gemessenen Stromstärken auf unsere Einheit zu reduciren.

Zwanzig Fuß von der Wage entfernt stand die Magnetisirungsspirale, deren Enden mit den Enden der Spiralen der Wage leitend verbunden waren, so daß der Strom hinter einander die Magnetisirungsspirale und die beiden Spiralen der Wage durchlaufen mußte.

Der zu magnetisirende Eisencylinder war von zwei Drahtspiralen umgeben, von denen eine in der andern steckte; man konnte nach Belieben die innere oder die äußere als Magnetisirungsspirale anwenden, während die andere, die wir die Inductionsspirale nennen wollen, in folgender Weise diente, um die Stärke des im Eisen erzeugten Magnetismus zu messen. 15 Fuß von dieser Spirale war nämlich ein Multiplicator aufgestellt, dessen Drahtenden mit den Drahtenden der Inductionsspirale in leitende Verbindung gesetzt werden konnten. Sobald der Magnetisirungsstrom eine bestimmte, an der Wage gemessene Stärke erreicht hatte, wurde die Verbindung zwischen Multiplicator und Inductionsspirale hergestellt, und sogleich der Strom, welcher die Magnetisirungsspirale durchläuft, unterbrochen. Der in der Inductionsspirale durch den verschwindenden Magnetismus des Eisens erzeugte Inductionsstrom bewirkt einen Ausschlag der Multiplicatornadel. Dieser Inductionsstrom, welcher dem Sinus des halben Ausschlagswinkels proportional ist, dient hier als Maß für die Stärke des dem Eisen ertheilten Magnetismus.

Durch eine große Reihe nach dieser Methode sorgfältig angestellte Versuche haben Lenz und Jakobi ermittelt,

daß der im weichen Eisen durch galvanische Ströme hervorgerufene Magnetismus der Stromstärke proportional sei.

Wir werden weiter unten sehen, daß dieser Satz nur innerhalb gewisser Gränzen wahr ist.

Die Gesetze, welche Lenz und Jakobi nun zunächst entwickelten, sind folgende:

Wenn um einen Cylinder von weichem Eisen gleich starke Ströme in gleich vielen Windungen herumgeführt werden, so ist der erzeugte Magnetismus gleich stark, mag nun

1) der Draht, aus welchen die Windungen gebildet sind, dick oder dünn sein, und
2) mag die Weite der Windungen groß oder klein sein.

Endlich ergab sich noch:

daß die Totalwirkung sämmtlicher, einen Eisenkern umgebenden Windungen gleich ist der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen.

Dieſe Sätze ſind a priori ſchon ſo einleuchtend, daß ein näheres Eingehen in die Details der entſprechenden Verſuche hier wohl überflüſſig iſt.

In einer ſpäteren Abhandlung von Lenz und Jacobi (P. A. LXI. 254) finden wir für Elektromagnete das weitere Geſetz,

daß bei maſſiven Eiſencylindern von gleicher Länge und mehr als $\frac{1}{3}$ Zoll Durchmeſſer, bei gleichen Spiralen und gleichen Stromſtärken, der Magnetismus dem Durchmeſſer der Cylinder proportional ſey.

Dieſes Geſetz iſt eben ſo wenig allgemein gültig, wie das von der Proportionalität zwiſchen Stromſtärke und Magnetismus. Bei dünneren Stäben hatten Lenz und Jakobi ſelbſt ſchon die Abweichung bemerkt, daher der beſchränkende Beiſatz.

Die wahren Beziehungen zwiſchen der Stromſtärke, den Durchmeſſer, den Cylinder und den in ihnen erzeugten Magnetismus werden wir weiter unten kennen lernen.

Anziehung der Elektromagnete. Vorausgeſetzt, daß der Magne- 191
tismus, welcher in einem Eiſenſtab erzeugt wird, der Stärke des Stromes proportional iſt, welcher ihn umkreiſt, läßt ſich erwarten, daß die Tragkraft von Elektromagneten dem Quadrate der magnetiſirenden Stromſtärke proportional ſey. Um dieſen Satz zu prüfen, ſtellte Jakobi und Lenz eine Reihe von Verſuchen an, bei denen jedoch zur Meſſung der Stromſtärke eine Nervander'ſche Tangentenbuſſole angewandt wurde.

Die Reſultate derjenigen Verſuche, welche mit geraden Eiſenſtäben und verhältnißmäßig geringen Stromſtärken angeſtellt wurden, ſtimmten ziemlich gut mit dieſer Erwartung überein (P. A. XLVII. 401), als aber die Petersburger Phyſiker zur Unterſuchung hufeiſenförmiger Elektromagnete übergingen, deren Schenkel mit 228 Windungen eines $\frac{3}{4}$ Linien dicken Kupferdrahtes umwunden waren, und ſtärkere Ströme angewandt wurden, blieb die Tragkraft weit hinter der erwarteten zurück, wie man aus der folgenden Tabelle ſieht, welche die Reſultate einer der von Lenz und Jakobi angeſtellten Verſuchsreihen enthält.

α	tang. α	g	g'
6° 28′	0,113	13,2	13,2
11 51	0,210	42,0	44,9
15 50	0,283	65,4	81,8
16 58	0,305	72,6	100,3
17 46	0,320	78,8	105,6
20 43	0,378	92,1	146,0

Die erſte Columne dieſer Tabelle enthält die an der Tagentenbuſſole abgeleſenen Ablenkungswinkel, die zweite Columne enthält die Tangenten dieſer Winkel; in der dritten Columne ſtehen die beobachteten Tragkräfte des hufeiſenförmigen Elektromagneten in Pfunden, in der letzten Columne endlich die Tragkraft, wie ſie ſeyn würde, wenn ſie dem Quadrat der Stromſtärke proportional gewachſen wäre. Man ſieht, daß die Zahlen der dritten Columne um ſo mehr hinter denen der vierten zurückbleiben, je mehr die Stromſtärke wächſt.

In dem folgenden Paragraphen wird gezeigt werden, daß das von Lenz und Jakobi aufgeſtellte Geſetz von der Proportionalität der Stromſtärke und der Magnetismus nicht allgemein wahr iſt und daß für ſtärkere Ströme und namentlich für dünnere Stäbe, der Magnetismus in einem weit langſamern Verhältniß wächſt als die Stromſtärke, und ſo erklärt ſich auch leicht, warum bei ſtärkeren Strömen die Tragkraft hufeiſenförmiger Elektromagnete ſo weit hinter den Erwartungen des Petersburger Phyſikers zurückblieb.

Es iſt ſehr zu bedauern, daß in der zuletzt beſprochenen Abhandlung keine Angaben zu finden ſind, durch welche eine Reduction der Stromſtärken auf chemiſches Maß möglich geworden wäre, denn dadurch hätten die mit großer Sorgfalt und Genauigkeit angeſtellten Verſuchsreihen von Lenz und Jakobi über die Tragkraft der Elektromagnete einen ungleich größeren Werth für die Wiſſenſchaft erhalten. Der Apparat, mit dem ſie ihre Meſſungen über die Tragkraft anſtellten, iſt in Pogg. Ann. Bd. LIV., S. 335 beſchrieben.

Im LII. Bande S. 303 von Poggendorff's Annalen veröffentlicht Pfaff eine Reihe von Verſuchen über die Tragkraft von Elektromagneten; da jedoch keine gleichzeitige Meſſung der Stromſtärke angeſtellt wurde, ſo laſſen ſich aus dieſen Verſuchen keine Geſetze ableiten. — Bei dieſen Verſuchen fand Pfaff, was man auch ſchon früher in Beziehung auf Stahlmagnete beobachtet hatte, daß für abgerundete Anker unter ſonſt gleichen Umſtänden die Tragkraft weit größer iſt als für ſolche, welche mit einer ebenen Fläche an den Magneten anſtoßen. Der Grund davon liegt höchſt wahrſcheinlich darin, daß ſich im letzteren Fall keine ſo innige Berührung herſtellen läßt.

Fig. 161.

Auch der Anker des oben S. 475 erwähnten Logemann'ſchen Magneten iſt nur mit einer ſchmalen Fläche mit dem Magnete in Berührung. Fig. 161 iſt ſein Querſchnitt. Die obere Berührungsfläche iſt nur 3^{mm} breit, während die unteren Flächen des Magneten 9^{mm} breit und 25^{mm} lang ſind.

Verſuche, welche Pfaff mit maſſiven und hohlen Elektromagneten anſtellte (P. A. LIII. 309), widerſprechen der Behauptung

von Jakobi (P. A. LI., 362), daß der Magnetismus eines Eisenstabes unter sonst gleichen Umständen nur seinem Durchmesser, also auch seinem Umfange, nicht seinem Querschnitt proportional sey, woraus er dann auch folgerte, daß hohle Stäbe verhältnißmäßig vortheilhafter seyen als massive. Zehn hohle Cylinder, deren äußerer Durchmesser gleich war, und von denen je zwei eine Wanddicke von $^{17}/_{18}$, $1^1/_7$, 2, $3^3/_8$ und $4^1/_2$ Linien hatten, wurden mit ganz gleichen Magnetisirungsspiralen versehen, und dann immer je zwei gleiche so verbunden, daß sie gewissermaßen ein Hufeisen bildeten, dessen Tragkraft geprüft wurde, es ergab sich unter anderen

für	1	. .	7	Pfund
»	2	. .	17	»
»	3	. .	15	»
»	4	. .	20	»
»	5	. .	44	»

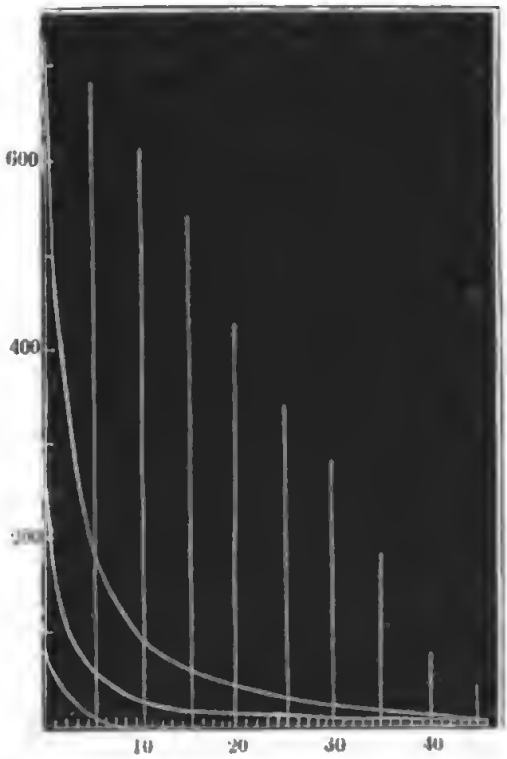
woraus sich ergiebt, daß bei gleichem Durchmesser die Tragkraft doch sehr von der Masse der Elektromagneten abhängt. Nro. 2 war wohl aus einer weicheren Eisensorte verfertigt.

Mit der Entfernung des Ankers von den Polen der Magnete nimmt die Tragkraft sehr rasch ab; Kramer in Kiel hat darüber Versuche angestellt (P. A. LII. 298). Um die anziehende Kraft in einer Reihe auf einander folgender, möglichst gleichförmig wachsender Entfernungen zu prüfen, nahm er als Einheit derselben die Dicke eines Blattes Velin-Postpapiers, wovon 46 eine englische Linie machen. Er schnitt von solchem Papier eine Anzahl Stücke und brachte diese nach und nach zwischen Pole und Anker. Die folgenden Tabellen sind ein Auszug aus den auf diese Weise mit vier verschiedenen Magneten erhaltenen Resultate.

Magnet Nro. I.		Magnet Nro II.	
Entfernung.	Tragkraft.	Entfernung.	Tragkraft.
0	80 Loth	0	104 Loth
1 Papierdicke	32 »	1 Papierdicke	44 »
2 »	21 »	2 »	24 »
4 »	11 »	4 »	11 »
8 »	$4^1/_4$ »	8 »	$4^1/_8$ »
15 »	$1^1/_8$ »	15 »	2 »

Magnet Nro. III.		Magnet Nro. IV.	
Entfernung.	Tragkraft.	Entfernung.	Tragkraft.
0	224 Loth	0	680 Loth
1 Papierdicke	148 »	1 Papierdicke	475 »
2 »	108 »	2 »	355 »
4 »	64 »	4 »	215 »
8 »	36½ »	8 »	116 »
16 »	17¼ »	16 »	55½ »
46 »	6½ »	46 »	13½ »

Fig. 162.



In der Originalabhandlung finden ſich auch noch die Tragkräfte, welche für die Entfernungen 3, 5, 6, 7, 9 u. ſ. w. beobachtet wurden.

In Fig. 162 iſt das Reſultat für I., III. und IV. graphiſch dargeſtellt, und zwar in den Abſciſſenlinien 1^{mm} für eine Papierdicke, als Ordinate 1^{mm} für eine Tragkraft von 10 Lothen.

192

Verſuche über den Einfluß des Ankers auf die Tragkraft. Welch bedeutenden Einfluß Geſtalt und Gewicht des Ankers auf die Tragkraft von Magneten hat, iſt ſchon längſt bekannt, doch ſind darüber wenig vergleichende Verſuche angeſtellt worden. Im Jahr 1847 legte Barral der Pariſer Akademie eine Abhandlung über Elektromagnete vor, von welcher die comptes rendus (Bd. 25, S. 757) einen Auszug geben. Er unterſuchte den Einfluß, den das Gewicht des Ankers auf die Tragkraft der Elektromagnete hat; mit einem 7,8 Kilo-

gramm ſchweren Elektromagneten erhielt er bei gleicher Stromſtärke folgende Reſultate:

Gewicht des Ankers.	Tragkraft.
0,2 Kil. . . .	33 Kil.
0,9 » . . .	66 »
2,8 » . . .	183 »
4,8 » . . .	235 »
6,8 » . . .	267 »
9,2 » . . .	295 »
15,0 » . . .	235 »

Die Tragkraft des Elektromagneten wäre demnach ein Maximum, wenn das Gewicht des Ankers dem des Elektromagneten nahe zu gleich iſt.

Dies Geſetz kann aber unmöglich eine allgemeine Geltung haben, da, wie wir ſogleich ſehen werden, bei gleicher Maſſe des Ankers die Tragkraft der Elektromagnete noch durch die Geſtalt des Ankers bedingt wird. Welche Geſtalt und welche Dimenſionen die Barral'ſchen Anker hatten, iſt in erwähntem Auszuge nicht angegeben, er würde aber gewiß ganz andere Reſultate erhalten haben, wenn er die vergrößerte Maſſe des Ankers in anderer Form zur Anwendung gebracht hätte.

Ueber die Tragkraft, welche der eine Pol eines geradlinigen Elektromagneten beſitzt und wie dieſelbe von der Maſſe und der Geſtalt des Ankers abhängt, hat Dub eine umfangreiche Unterſuchung angeſtellt (P. A. LXXIV. 465).

Die Anordnung ſeiner Verſuche war im Weſentlichen folgende: Der mit der Magnetiſirungsſpirale umgebene cylindriſche Eiſenſtab war vertical geſtellt und gehörig befeſtigt; auf dem oberen Pol wurde der gleichfalls cylindriſche Anker aufgeſetzt, welcher durch einen genau conſtruirten Hebelapparat abgeriſſen wurde. Die Pole des Elektromagneten und der Anker waren möglichſt eben abgeſchliffen. Der Strom, welcher durch die Spirale ging, wurde durch eine Tangentenbuſſole gemeſſen.

Zunächſt unterſuchte Dub 10 Anker von gleichem Gewicht (29¼ Loth) aber verſchiedener Länge und alſo auch verſchiedenem Durchmeſſer. Der Elektromagnet war 12 Zoll lang und hatte 1 Zoll Durchmeſſer. Die Dimenſionen der Anker waren folgende:

Anker.	d	l	Anker.	d	l
Nr. 1	2″	1″	Nr. 6	$^7/_8$″	$5^1/_4$″
» 2	$1^1/_2$	$1^1/_5$	» 7	$^3/_4$	$7^1/_9$
» 3	$1^2/_5$	2	» 8	$^{11}/_{16}$	$8^1/_2$
» 4	$1^1/_5$	3	» 9	$^9/_{16}$	$12^2/_3$
» 5	1	4	» 10	$^1/_2$	16

unter d ſtehen die Durchmeſſer, unter l die Längen. Mit dieſen Ankern machte Dub Verſuche bei zwei verſchiedenen Stromſtärken. Es ergab ſich Folgendes:

Anker.	Stromſtärke = 25°	Stromſtärke = 45°
1	1,8 Pfund	6,24 Pfund
2	1,7 »	5,4 »
3	2,1 »	5,2 »
4	2,7 »	6,57 »
5	3,35 »	8,13 »
6	4,5 »	10,71 »
7	6,2 »	15,5 »
8	7,4 »	19,15 »
9	9,7 »	27,9 »
10	10,3 »	25,58 »

Wir ſehen aus dieſer Tabelle, daß bei gleichem Gewicht des Ankers ſeine Tragkraft ſehr weſentlich von ſeinen Dimenſionen abhängt. Im Allgemeinen wächſt bei gleichem Gewicht die Tragkraft mit der Länge.

Nun ſtellte Dub Verſuche an mit Ankern von gleichem Durchmeſſer und verſchiedener Länge (alſo auch verſchiedenem Gewicht).

Mit einem Elektromagneten von 1 Zoll Durchmeſſer und 12 Zoll Länge erhielt er folgende Reſultate, als der Durchmeſſer des Ankers dem des Elektromagneten gleich war.

Länge der Anker	Stromstärke			
	20°	25°	31°	35°
2″	1,2 Pfd.	1,7 Pfd.	2,4 Pfd.	2,9 Pfd.
3	1,7 »	2,4 »	3,6 »	4,5 »
4	2,4 »	3,3 »	4,8 »	6,1 »
5	3,0 »	4,0 »	6 2 »	7,3 »
6	3,3 »	4,6 »	6,8 »	8,9 »
9	4,4 »	6,8 »	11,2 »	13,8 »
15	4,9 »	8,4 »	12,9 »	16,4 »
18	5,2 »	10,2 »	13,6 »	18,8 »
21	6,3 »	12,0 »	16,0 »	22 »
24	5,9 »	9,5 »	13,4 »	17,5 »

Mit demselben Elektromagneten, aber mit Ankern von $^5/_{16}$ Zoll Durchmesser ergaben sich folgende Resultate.

Länge der Anker	Stromstärke			
	20°	25°	31°	35°
2″	1,7 Pfd.	2,6 Pfd.	3,6 Pfd.	4,4 Pfd.
3	2,9 »	3,7 »	5,4 »	6,2 »
4	3,4 »	4,7 »	7,2 »	7,7 »
5	3,9 »	5,4 »	7,8 »	8,0 »
9	6,0 »	7,3 »	9,4 »	10,1 »
12	6,5 »	8,7 »	9,8 »	10,8 »
18	6,3 »	8,7 »	9,5 »	10,5 »
24	6,3 »	8,0 »	9,4 »	10,5 »

Im Allgemeinen wächst also die Tragkraft mit der Länge der Anker, jedoch nur bis zu einem bestimmten Maximum. Bei den Zoll dicken Ankern erreicht die Tragkraft für die Länge von 21″ das Maximum; mit Vergrößerung der Länge findet wenigstens keine Ver-

mehrung der Tragkraft mehr ſtatt. Bei geringerem Durchmeſſer des Ankers findet das Maximum der Tragkraft ſchon bei geringerer Länge ſtatt; für $^5/_{16}$ Zoll Durchmeſſer bei 12 Zoll Länge; für $^3/_{16}$ Zoll Länge fand es Dub bei 9 Länge. Für ſtärkere Ströme und dünnere Anker beginnt die Annäherung zu dem Maximum ſchon früher.

Den Einfluß der Dicke des Ankers können wir zum Theil ſchon aus den zuletzt angeführten Tabellen erkennen. Wir ſehen, daß bei gleicher Stromſtärke und gleicher Ankerlänge der dünnere Magnet oft mehr trägt als der dickere; eine in dieſer Beziehung beſonders angeſtellte Verſuchsreihe, wozu ein Elektromagnet von 12″ Zoll Länge und 1″ Durchmeſſer gebraucht wurde, gab folgende Reſultate.

Ankerlänge 2″.

Stromſtärke.	Durchmeſſer der Anker.								
	1″	$^{11}/_{16}$″	$^9/_{16}$″	$^8/_{16}$″	$^6/_{16}$″	$^5/_{16}$″	$^3/_{16}$″	$^2/_{16}$″	$^1/_{16}$″
20°	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,7	1	0,4
25	1,7	1,8	2,0	2,1	2,4	2,6	2,2	2,1	0,4
31	2,4	2,7	3,0	3,1	3,4	3,6	3,1	2,1	0,4
35	3,0	3,0	3,5	3,8	4,1	4,4	3,3	2,0	0,4
39	3,6	4,1	4,4	4,5	5,5	5,5	3,8	2,9	0,5
42	4,7	5,2	5,8	6,3	7,2	6,9	3,9	2,7	0,5

Ankerlänge 6″.

Stromſtärke.	Durchmeſſer der Anker.								
	1″	$^{12}/_{16}$″	$^{11}/_{16}$″	$^9/_{16}$″	$^8/_{16}$″	$^6/_{16}$″	$^5/_{16}$″	$^3/_{16}$″	$^2/_{16}$″
20°	3,3	3,9	4,2	4,4	4,8	5,1	4,9	2,7	2,2
25	4.8	5,5	6,2	6,4	7,1	7,3	6,1	3,4	2,2
31	6,8	8,1	9,1	9,7	10,4	10,0	8,2	3,8	2,4
35	8,9	10,3	11,2	11,7	12,5	11,9	9,2	4,1	2,7
39	9,9	12,9	13,9	15,2	16,2	14.9	9,8	3,9	2,8
45	13,3	16,2	18,5	21,3	20	17,2	10,1	3,8	2,8

Ankerlänge 12″.

Stromstärke.	Durmeſſer der Anker.						
	$^{12}/_{16}$″	$^{10}/_{16}$″	$^{8}/_{16}$″	$^{6}/_{16}$″	$^{5}/_{16}$″	$^{3}/_{16}$″	$^{2}/_{16}$″
20°	4,7	5,8	6,8	7,2	6,5	3,3	2,0
25	8,6	9,3	10,8	10,3	8,5	3,7	2,5
31	12,0	14,8	16,1	13,8	9,8	4,3	2,6
35	18,3	19,2	19,6	15,6	10,8	4,4	2,8
39	19,7	22,8	24,8	17,0	10,8	4,5	2,6
45	28,9	33,4	27,5	18,6	11,7	4,8	2,9

Wir ſehen hier das merkwürdige Reſultat, daß die Tragkraft mit dem Dünnerwerden des Ankers bis zu einer beſtimmten Gränze wächſt, das Maximum der Tragkraft rückt aber den dickeren Ankern um ſo mehr zu, je länger ſie ſind und je größer die Stromſtärke iſt. Unter den 2″ langen Ankern z. B. zeigt bei 20° der von $^{5}/_{16}$″ Durchmeſſer das Maximum der Tragkraft, welches ſich für 45° bei $^{6}/_{16}$″ Durchmeſſer findet. Unter den Ankern, welche 12″ lang ſind, zeigt bei 20° der $^{6}/_{16}$ Zoll Dicke, bei 45° der $^{10}/_{16}$ Zoll Dicke die größte Tragkraft.

Eben ſo zeigen die Verſuche Dub's, daß, wenn die Anker dicker ſind als die Elektromagnete, die Tragkraft bis zu einer gewiſſen Gränze zunimmt, wenn der Durchmeſſer der Elektromagnete verkleinert wird.

In beiden Fällen bewirkt aber die Verkleinerung der Durchmeſſer nur deshalb eine Vermehrung der Tragkraft, weil ſie mit einer Verkleinerung der Berührungsfläche verbunden iſt. Es geht dies deutlich aus den Verſuchen Dub's hervor, zu welchen er coniſch zugeſpitzte Anker anwandte, um bei größerem Durchmeſſer eine kleinere Berührungsfläche zu erzielen.

So erhielt er z. B. mit einem Elektromagnet von 1 Zoll Durchmeſſer und 12 Zoll Länge mit verſchiedenen 6 Zoll langen Ankern folgende Reſultate:

Anker Nro. I. 1 Zoll Durchmeſſer, oben coniſch verjüngt, ſo daß die Berührungsfläche $^{1}/_{2}$ Zoll Durchmeſſer hatte . . . 7 Pfund
Anker Nro. II. ganz cylindriſcher Anker von 1 Zoll Durchmeſſer . . . . . 3,3 »
Anker Nro. III. ganz cylindriſch $^{1}/_{2}$ Zoll Durchmeſſer . 4,8 »

Der halbzöllige cylindriſche Magnet hat alſo nur deshalb eine größere Tragkraft, als der einzöllige, weil die Berührungsfläche kleiner iſt, wenn

man den einzölligen oben so vergüngt, daß die obere Fläche ebenfalls ein ½ Zoll Durchmesser hat, so trägt er jetzt bedeutend mehr als der halbzöllige. Bei gleich großer Berührungsfläche zieht der Anker am meisten, welcher die größte Masse hat.

Wie es kommt, daß der kleineren Berührungsfläche die größere Tragkraft zukommt, ist noch nicht gehörig ermittelt. Jedenfalls kann man bei größeren Berührungsflächen keine so innige Berührung, kein so genaues Anschließen hervorbringen, während außerdem noch bei dickeren Ankern weit eher ein Abbrechen des Ankers stattfinden kann als bei kleineren.

Leider hat Dub nach dieser Seite seine Versuche nicht ausgedehnt, er hat nicht untersucht, wie es sich verhält, wenn man die Berührungsfläche bis zur Kante oder bis zum Punkt verkleinert.

Jedenfalls ist die Tragkraft eine Function der Länge des Ankers, seines Durchmessers und der Größe der Berührungsfläche. Die Natur dieser Function, also wie die Tragkraft von diesen drei Elementen abhängt, ist bis jetzt noch nicht genügend ermittelt.

193 **Neuere Versuche über die Gesetze des Elektromagnetismus.** Wenn der Magnetismus eines Eisenstabes der Stärke des um ihn herumgeführten Stromes stets proportional wäre, so müßte er selbst im dünnsten Stab ins Unendliche wachsen können, was aus mannigfachen Gründen höchst unwahrscheinlich ist. In Stahlstäben kann der Magnetismus nicht über eine gewisse Gränze hinaus gebracht werden; sollte es nicht auch für Eisenstäbe eine Gränze geben, der sich der Stabmagnetismus bei wachsender Stromstärke mehr und mehr nähert, ohne jedoch dieselbe je zu erreichen? Schon lange ging ich mit dem Plan um, diesen Gegenstand auf experimentellem Wege weiter zu verfolgen, aber erst im vorigen Herbst kam ich zur Ausführung.

In den Uebungsstunden unseres mathematisch-naturwissenschaftlichen Seminars unternahm es nämlich Hr. C. Gartenhauser nach meiner Anleitung eine hierher gehörige Reihe von Versuchen auszuführen, deren Resultate meine Erwartungen vollkommen bestätigte.

Die Anordnung der Versuche übersieht man aus Fig. 163. Der Strom wurde durch sechs Bunsen'sche Becher erzeugt, von denen je drei

Fig. 163.

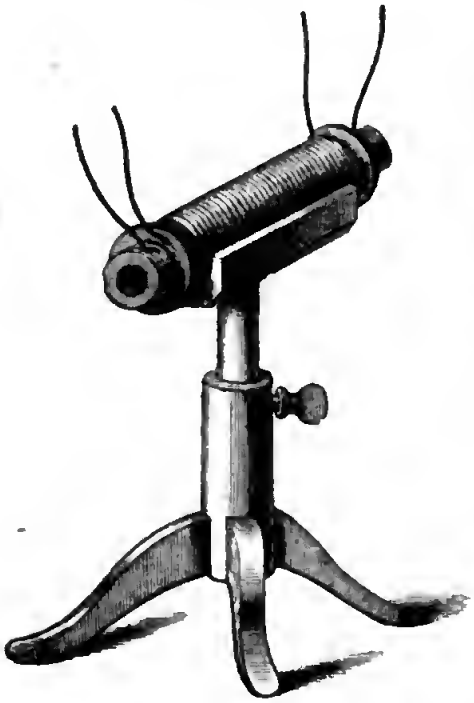
zu einem Elemente combinirt waren, so daß man eine Säule von zwei großen Elementen hatte, er ging durch die Magnetisirungsspirale *s* und durch die Tangentenbussole *t*, welche so weit abstand (50 Fuß), daß der Magnetismus der in *s* eingeschobenen Eisenstäbe keinen merklichen Einfluß auf die Nadel in *t* ausüben konnte.

Als Einheit der Stromstärke wurde ein Strom genommen, der in einer Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas von 0° und 760^{mm} Spannkraft liefert. Um die Angaben der Tangentenbussole auf diese Einheit zu reduciren, muß die Tangente des Ablenkungswinkels mit 70 multiplicirt werden (S. 250).

Die Magnetisirungsspirale stand rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian; zur Messung des Magnetismus der in *s* eingeschobenen Eisenstäbe diente eine 88 Centimeter östlich von ihm aufgestellte Bussole *b*.

Die Einrichtung in Aufstellung der Magnetisirungsspirale ist aus Fig. 164 zu ersehen. Zwei Drahtrollen waren in einander gesteckt, von denen jede aus drei Drahtlagen bestand; die innere war 532^{mm} lang, mit grüner Seide übersponnen und soll deshalb mit *g* bezeichnet werden; sie bestand aus 408 Windungen eines 3,1^{mm} dicken Kupferdrahtes; die äußere, 482^{mm} lange, violett übersponnene und deshalb mit *v* bezeichnete, bestand aus 372 Windungen eines 2,7^{mm} dicken Kupferdrahtes.

Fig. 164.



Die zu den Versuchen angewandten Stäbe waren von gewalztem Eisen und nicht weiter abgedreht; ihre Länge war 560^{mm}, so daß sie noch etwas auf jeder Seite aus der Spirale herausragten; der Stab Nro. 1 war 9^{mm} dick; Nro. 2 — 12^{mm}; Nro. 3 — 15^{mm}; Nro. 4 endlich 44^{mm}. Die drei dünneren Stäbe wurden in die innere Hülse eingeschoben; um den dicksten in *v* einzuschieben, mußte erst *g* herausgenommen werden.

Die Beobachtungsresultate unserer Versuche sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

	c.	a.	s.	p.	w'.	u.	m.	$\frac{m}{p}$
				Stab Nro. 1.				
5	v	32°,2	44,076	16397	2°48′	18°	0,2760	1683
6	v	28,2	37,534	13963	2 27	17 33′	0,2735	1959
9	v	15,4	19,278	7110	1 20	13 41	0,2202	3097
14	v	3,2	3,913	1456	16	3 41	0,2597	4100
4	g	34,4	47,929	19555	1 30	16 44	0,2744	1403
8	g	15,5	19,411	7921	39	13 46	0,2337	2937
2	g	41,6	62,146	25356	1 49	17 33	0,2845	1122
11	g	7,0	8,596	3507	18	8 6	0,1371	3909
13	g	3,2	3,913	1596	8	3 49	0,0644	4004
1	v+g	27,0	35,665	27819	3 31	19 8	0,2864	1027
3	v+g	23,5	30,436	23740	3 4	18 40	0,2842	1197
7	v+g	13,6	19,933	13288	1 2	16 18	0,2627	1967
10	v+g	7,0	8,596	6705	54	12 36	0,2078	3090
12	v+g	3,2	3,913	3052	24	7 12	0,1193	3909
				Stab Nro. 2.				
4	v	32.2	44,079	16397	2 48	27	0,4606	2808
6	v	27,5	36,442	13556	2 24	26 6	0,4325	3309
11	v	7	8,596	3198	36	9	0,1479	4625
13	v	3,3	3,731	1388	17	4 25	0,0723	5209
2	g	42,2	63,469	25895	1 50	27 54	0,4975	1959
3	g	35,6	50,113	20546	1 33	27 16	0,4883	2381
7	g	17,5	22,064	9001	0 45	18 54	0,3293	3658
9	g	7,5	9,212	3758	0 19	9 54	0,1690	4494
12	g	3,4	3,752	1531	0 8	4 30	0,0764	5223
1	v+g	26,6	28,039	27638	3 28	29 42	0,5098	1844
5	v+g	14,0	17,451	13612	1 49	24 32	0,4247	3120
8	v+g	7,0	8,596	6705	0 54	17 17	0,2954	4108
10	v+g	3,4	4,158	3243	0 26	8 19	0,1386	4270
				Stab Nro. 3.				
6	v	20,5	26,173	9736	1 47	24 23	0,4222	4336
11	v	8	9,835	3659	0 42	10 48	0,1786	4881
13	v	6,4	7,854	2922	0 34	8 33	0,1404	4805
14	v	5,7	6,886	2506	0 30	7 12	0,1176	4591
2	g	41,5	61,929	25267	1 48	36 27	0,7072	2799
7	g	17,5	22,064	9001	0 45	22 5	0,3926	4361
10	g	7,8	9,590	3903	0 20	10 21	0,1768	4529
1	v+g	26,5	34,902	27223	3 26	38 26	0,7335	2694
3	v+g	23,6	30,583	23855	3 4	36 54	0,6975	2974
4	v+g	17	21,399	16691	2 13	33 29	0,6228	3731
5	v+g	14	17,451	13618	1 49	30 49	0,5648	4147
8	v+g	7	8,596	6705	0 54	18	0,3092	4611
9	v+g	6	7,357	5738	0 47	15 2	0,2675	4662
12	v+g	3,4	4,158	3243	0 26	9 11	0,1541	4748
				Stab Nro. 4.				
1	v	33,1	45,633	16975	2 52	54 43	0,3631	8041
2	v	20,2	25,753	9580	1 45	39 22	0,7898	8244
3	v	18,8	19,810	7369	1 22	31 44	0,5946	8069
4	v	12,0	14,832	5536	1 2	25 44	0,4640	8381
5	v	7,4	9,093	3383	0 38	15 38	0,2730	8129
6	v	6,5	7,973	2946	0 34	14 30	0,2487	8102

Die mit c überschriebene Columne giebt die Combination der Drahtspiralen an; v bezeichnet die violette Spirale allein; g die grüne allein; $v+g$ die beiden Spiralen so combinirt, daß der Strom erst die eine, dann die andere durchläuft. Die mit a überschriebene Columne enthält die an der Tangentenbussole abgelesene Ablenkung; die mit s überschriebene enthält die entsprechende Stromstärke, welche man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit 70 multiplicirt. Die magnetisirendende Kraft p, welche in der folgenden Columne steht, ist durch Multiplication der Stromstärke mit der Anzahl der von dem Strom durchlaufenen Windungen erhalten worden. Die mit u' überschriebene Columne giebt die Ablenkung an, welche die Spirale für sich allein an der Bussole b Fig. 163 hervorbringt, während man unter u die von dem magnetisirten Eisenstab und der Spirale zugleich hervorgebrachte Ablenkung dieser Bussole findet. $tang.\,u - tang.\,u'$ giebt das Maaß für den Stabmagnetismus, wie man ihn in der mit m überschriebenen Columne findet. Die letzte Columne endlich enthält die Werthe des Quotienten $\frac{m}{p}$, und zwar, um die vielen Decimalstellen zu vermeiden, mit 100000000 multiplicirt.

Wäre das Gesetz von Lenz allgemein wahr, so müßte für einen und denselben Stab der Werth von $\frac{m}{p}$, constant bleiben; die Unterschiede sind aber so bedeutend, daß an eine Proportionalität des Stabmagnetismus und der Stromstärke nicht mehr zu denken ist. Im Allgemeinen sieht man, daß für größere Werthe von p der Werth von $\frac{m}{p}$ kleiner ausfällt, daß für größere magnetisirende Kräfte, also caeteris paribus für größere Stromstärke, der Stabmagnetismus weit geringer ausfällt, als man nach dem Gesetz der Proportionalität hätte erwarten sollen.

Nach vielen vergeblichen Versuchen ist es mir gelungen eine Formel aufzufinden, welche sämmtliche Versuchsresultate umfaßt, die sich in obiger Tabelle verzeichnet finden; diese Formel ist

$$p = 220\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{m}{0{,}00005\, d^2} \quad \ldots \quad (1)$$

in welcher p und m dieselbe Bedeutung haben, wie in obiger Tabelle, während d den Durchmesser des Stabes bezeichnet. Aus dieser Gleichung folgt:

1) Für $p = \infty$ ist $\frac{m}{0{,}00005\, d^2} = 90^0$ also $m = 90 \,.\, 0{,}00005\, d^2$; für eine unendliche Stromstärke würde demnach der Stabmagnetismus doch nur einen endlichen Werth erhalten, es giebt also für jeden Eisenstab ein absolutes Maximum des Magnetismus, und die-

ſes magnetiſche Maximum iſt dem Quadrate des Durchmeſſers, alſo dem Querſchnitt des Stabes, proportional.

2) Wenn der Magnetismus verſchiedener Stäbe denſelben Theil ihres abſoluten magnetiſchen Maximums ereichen ſoll, ſo muß man für alle den Werth von $\frac{m}{0{,}00005\,d^2}$ gleich ſetzen; alsdann aber verhalten ſich die entſprechenden Werthe von p wie $d^{3/2}$; d. h. um in verſchieden dicken Eiſenſtäben denſelben aliquoten Theil ihres magnetiſchen Maximums zu erzeugen, muß man Ströme anwenden, die ſich verhalten wie die Quadratwurzel aus der dritten Potenz der Halbmeſſer. Wenn alſo z. B. eine beſtimmte Stromſtärke f in einem Eiſenſtab einen Magnetismus erzeugt, welcher die Hälfte des abſoluten magnetiſchen Maximums beträgt, ſo wird man, um in einem zweimal dickeren Stabe gleichfalls $\frac{1}{2}$ des abſoluten magnetiſchen Maximums zu erreichen, caeteris paribus einen $\sqrt{2^3}$ alſo einen 2,83mal ſtärkeren Strom nöthig haben.

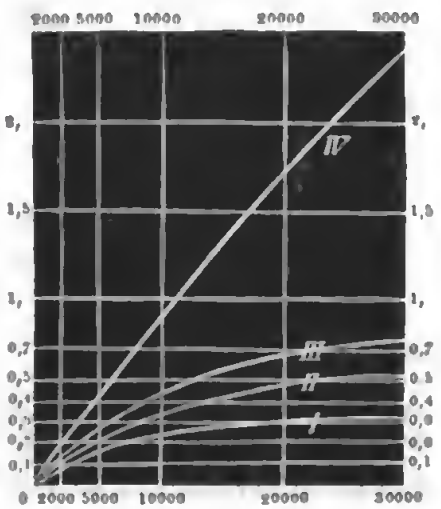
3) So lange *tang.* $\frac{m}{0{,}00005\,d^2}$ nur einen kleinen Winkelwerth hat, ſind p und m ziemlich nahe proportional und man kann ohne merklichen Fehler

$$p = a \,.\, 220\, d^{3/2}\, \frac{m}{d^2}$$

ſetzen, wo a einen leicht zu ermittelnden conſtanten Factor bezeichnet; daraus ergiebt ſich aber $m = \frac{p\,.\,\sqrt{d}}{a\,.\,220}$,

ſo weit man alſo den Stabmagnetismus der Stromſtärke proportional ſetzen kann, iſt der durch gleiche Ströme in verſchiedenen Eiſenſtäben erzeugte Magnetismus der Quadratwurzel aus dem Stabdurchmeſſer proportional.

Fig. 165.



Um das Verhältniß anſchaulicher zu machen, nach welchem der Stabmagnetismus wächſt, wenn die Stromſtärke zunimmt, iſt es nach der Gleichung (1) in Fig. 165 für unſere vier Stäbe graphiſch dargeſtellt; die Abſciſſen ſind der magnetiſirenden Kraft, die Ordinaten ſind dem Stabmagnetismus proportional aufgetragen. Die unterſte Curve entſpricht dem dünnſten, die oberſte dem dickſten Eiſenſtab. Vergleicht

man dieſe Figur mit den Zahlen der obigen Tabelle, ſo iſt wohl keine weitere Erläuterung zu ihrem Verſtändniß nöthig.

Wäre das Lenz'ſche Geſetz allgemein gültig, ſo müßten dieſe vier Curven gerade Linien ſeyn, was nur bei der Curve Nr. IV annähernd der Fall iſt. Der Anblick der Fig. 165 ſchon zeigt uns, daß wir mit den Stromſtärken, mit denen wir operirten, für den dünnſten Stab dem abſoluten magnetiſchen Maximum ſchon ſehr nahe gekommen ſind, indem die Curve I. auf ihrer rechten Seite ſchon einen faſt horizontalen Lauf hat.

Die Abweichung unſerer Curven von einer geraden Linie iſt der Art, daß man ſie unmöglich auf Rechnung von Beobachtungsfehlern ſchreiben kann; wenn Lenz aus ſeinen Verſuchen das Geſetz der Proportionalität ableiten konnte, ſo hat dies ſeinen Grund gewiß nur darin, daß er im Verhältniß zu ſeinen Eiſenſtäben zu ſchwache Ströme anwandte.

Es bleibt jetzt noch übrig nachzuweiſen, in wie weit die Gleichung (1) wirklich den wahren Zuſammenhang zwiſchen Stabmagnetismus, Stabdicke und Stromſtärke darſtellt. Zu dieſem Zwecke ſind für ſämmtliche in obiger Tabelle enthaltenen Werthe von p nach dieſer Gleichung die entſprechenden Werthe von m berechnet und in der folgenden Tabelle mit den beobachteten Werthen von m zuſammengeſtellt worden.

p	m beobachtet.	m berechnet.	Unterſchied.	p	m beobachtet.	m berechnet.	Unterſchied.
	Stab Nro. 1.				Stab Nro. 2.		
27819	0,2864	0,3156	+ 0,0292	27638	0,5098	0,5162	+ 0,0064
25356	0,2845	0,3113	+ 0,0268	25895	0,4975	0,5081	+ 0,0106
23746	0,2842	0,3075	+ 0,0233	20546	0,4883	0,4753	— 0,0130
19555	0,2744	0,2979	+ 0,0235	16397	0,4606	0,4383	— 0,0223
16397	0,2760	0,2837	+ 0,0077	13612	0,4247	0,4041	— 0,0206
13963	0,2735	0,2674	— 0,0052	9001	0,3293	0,3207	— 0,0086
13288	0,2627	0,2668	+ 0,0041	6705	0,2954	0,2610	— 0,0344
7921	0,2337	0,2151	— 0,0186	3758	0,1690	0,1609	— 0,0081
7110	0,2202	0,2030	— 0,0173	3243	0,1386	0,1406	+ 0,0020
6705	0,2078	0,1962	— 0,0116	3198	0,1379	0,1388	+ 0,0009
3507	0,1371	0,1237	— 0,0134	1531	0,0764	0,0685	— 0,0087
3052	0,1193	0,1002	— 0,0091	1388	0,0723	0,0621	— 0,0102
1596	0,0644	0,0605	— 0,0039				
1456	0,0597	0,0558	— 0,0039				

p	m beobachtet.	m berechnet.	Unterſchied.	p	m beobachtet.	m berechnet.	Unterſchied.
	Stab Nro. 3.				Stab Nro. 4.		
27223	0,7335	0,7328	— 0,0007	16975	1,3631	1,4137	+ 0,0506
25267	0,7072	0,7215	+ 0,0143	9580	0,7898	0,8082	+ 0,0184
23855	0,6975	0,6968	+ 0,0014	7369	0,5946	0,6264	+ 0,0218
16691	0,6228	0,5940	— 0,0288	5536	0,4640	0,4712	+ 0,0072
13618	0,5648	0,5266	— 0,0382	3383	0,2750	0,2892	+ 0,0142
9736	0,4222	0,4217	— 0,0005	2946	0,2487	0,2504	+ 0,0017
9001	0,3926	0,3974	+ 0,0048				
6705	0,3092	0,3127	+ 0,0035				
5738	0,2642	0,2732	+ 0,0090				
3903	0,1768	0,1917	+ 0,0149				
3659	0,1786	0,1805	+ 0,0019				
3243	0,1541	0,1548	+ 0,0007				
2922	0,1404	0,1455	+ 0,0051				
2562	0,1283	0,1314	+ 0,0138				

Die Uebereinſtimmung zwiſchen den beobachteten und den berechneten Werthen von m iſt von der Art, daß man wohl berechtigt iſt, die Gleichung (1) für den wahren Ausdruck des Zuſammenhanges zwiſchen Magnetismus und Stromſtärke anzuſehen, namentlich wenn man den großen Umfang unſerer Verſuchsreihen ſowohl in Beziehung auf Stromſtärke als auf Stabdurchmeſſer bedenkt. Die Differenzen ſind von der Art, daß man ſie ohne Anſtand auf Koſten der Beobachtungsfehler ſetzen darf, deren mehrere ſich ſummiren können, welche nicht allein in der Aufſtellung, Centrirung und Ableſung der Buſſolen, ſondern auch darin zu ſuchen ſind, daß die Stäbe (gewalztes Eiſen, nicht weiter abgedreht) keinen vollkommnen kreisförmigen Durchmeſſer hatten und Fehler in der Meſſung ihrer Dicke begangen wurden, was namentlich die vorherrſchend poſitiven Differenzen beim Stab Nr. 4 bedingt, deſſen Durchmeſſer wohl im Vergleich zu den übrigen Stäben zu groß angenommen ſeyn mag.

Man könnte die Frage aufwerfen, wie es denn möglich geweſen ſey, daß zwei ſo geſchickten und genauen Experimentatoren, wie Lenz und Jakobi, das wahre Geſetz des Elektromagnetismus entgangen ſey. Darauf iſt vor Allem zu bemerken, daß das von jenen Phyſikern aufgeſtellte Geſetz keineswegs falſch, ſondern nur nicht allgemein gültig iſt. Es iſt wahr innerhalb gewiſſer Gränzen, es iſt wahr für dicke Stäbe und ſchwächere Ströme; und für ſolche haben Lenz und Jakobi ihre Unterſuchungen nur ange-

ſtellt. Innerhalb dieſer Gränzen fällt ihr Geſetz mit den von mir aufgeſtellten zuſammen. Daß Lenz und Jakobi ihre Verſuche namentlich in Beziehung auf Stromſtärke nicht weiter ausdehnten, kann aber nicht auffallen, wenn man bedenkt, daß man zu jener Zeit noch keine conſtanten Ketten hatte, und ſich dieſen Unterſuchungen überhaupt ungleich größere experimentelle Schwierigkeiten entgegenſtellten, als jetzt.

Anwendung des Magnetometers zur Ermittelung der Geſetze des Elektromagnetismus. 194 Durch obige Verſuchsreihe iſt nun die Form der Function zwiſchen Stromſtärke und Stabmagnetismus feſtgeſetzt; die Stromſtärke iſt auf eine beſtimmte Einheit zurückgeführt, die Werthe für die Stärke des Magnetismus ſind aber noch ganz von den Individualitäten des Verſuchs behaftet; um ſie davon zu befreien, müßte man die Werthe für den Stabmagnetismus auf Gauß und Weber's abſolutes Maaß zurückführen, wofür jedoch nicht genug zuverläſſige Data vorliegen.

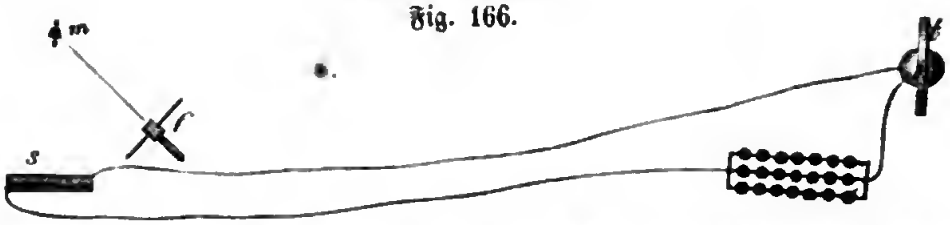
Um einerſeits dieſe Reduction möglich zu machen, anderſeits aber auch den Umfang der Verſuche zu erweitern und ihre Genauigkeit zu erhöhen, ſchritt ich zur Anſtellung einer zweiten Verſuchsreihe, in welcher ich zur Meſſung des Stabmagnetismus ſtatt einer Buſſole ein Magnetometer mit Spiegel anwandte.

Da unſere Mittel nicht ausreichen, um ein Magnetometer von einem derjenigen Mechaniker zu beziehen, welche ſich in Anfertigung dieſer Inſtrumente Ruf erworben haben, ſo war ich genöthigt, mir ſelbſt ein ſolches mit den einfachſten Mitteln herzuſtellen. Es war in einem Erker unſers phyſikaliſchen Cabinets an einem 9 Fuß langen feinen Metalldrahte aufgehängt. Die Magnetiſirungsſpirale war im magnetiſchen Meridian des Magnetometers und zwar nördlich von demſelben aufgeſtellt, und zwar ſo, daß die Mitte der Spirale und die Mitte des Magnetometerſtabs in derſelben Horizontalebene lagen. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß die Axe der Magnetiſirungsſpirale rechtwinklig auf den magnetiſchen Meridian ſtand. Die Länge des von dem Drehpunkt des Magnetometers auf die Axe der Spirale gefällten Perpendikels betrug 217 Centimeter. Die Scala, welche durch das Fernrohr im Spiegel des Magnetometers abgeleſen wurde, war 208 Centimeter weit von der Drehungsaxe des Magnetometers entfernt; ich hatte dieſelbe von Göttingen bezogen, es iſt alſo die allgemeine bei Magnetometerbeobachtungen gebräuchliche in Millimeter getheilte Scala. Die abgeleſenen ganzen Zahlen ſind Centimeter, die Millimeter erſcheinen auf der erſten Decimalſtelle.

Die Aufſtellung der Tangentenbuſſole war dieſelbe wie früher. Die Entfernung der Spirale von der Tangentenbuſſole betrug gegen 100 Fuß.

Dieſer größeren Entfernung wegen war auch eine ſtärkere Batterie nöthig; es wurde bei dieſen Verſuchen eine Säule von 7 dreifachen Bunſen'ſchen Bechern angewandt. Fig. 166 ſtellt die Anordnung dieſer Verſuche dar, *m* iſt das Magnetometer, *f* das Fernrohr.

Fig. 166.



Zunächſt machte ich Verſuche mit einer Magnetiſirungsſpirale, welche Herr Profeſſor Frick mir geliehen hatte; ſie iſt drei Decimeter lang und hat einen inneren Durchmeſſer von 49 Millimetern. Sie beſteht aus 5 Lagen Kupferdraht von 2,8^{mm} Durchmeſſer; jede Lage hat 76 Windungen.

Die eingeſchobenen Stäbe von ganz weichem deutſchen Eiſen waren möglichſt genau cylindriſch abgedreht und 3,3 Decimeter lang, ſie ragten alſo auf jeder Seite 1,5 Centimeter vor. Dieſe Stäbe hatten folgende Durchmeſſer:

	d	$d^{3/2}$	d^2
1	44,5^{mm}	296,8	1980
2	29,8	162,6	888
3	15	58,1	225
4	6	14,7	36

Ich habe hier gleich die Werthe von $d^{3/2}$ und d^2 beigeſetzt, weil dieſelben doch alsbald gebraucht werden.

Die dünnern Stäbe wurden durch Hülſen von Holz in der Axe der Spirale gehalten.

Wurde nun nach eingeſchobenem Eiſenſtab die Kette geſchloſſen, ſo wurde das Magnetometer aus ſeine Gleichgewichtslage abgelenkt, und oscillirte lange um ſeine neue Gleichgewichtslage, welche man dadurch ermitteln mußte, daß man mehrmals hinter einander die Gränzen der Oscillationen beobachtete. Ich habe ſtets 10 Hin- und 10 Hergänge abgeleſen. So wurden z. B., als der Stab Nro. 4 eingeſchoben war und die Spirale von einem Strom durchlaufen wurde, welcher an der Tangentenbuſſole 29,8° Ablenkung hervorbrachte, folgende Beobachtungen am Magnetometer gemacht. Die durch das Fernrohr im Magnetometerſpiegel beobachtete Scala ſchwankte:

				Summa
von Theilſtrich	51,65	bis	55,5	107,15
»	51,6	»	55,8	107,4
»	51,7	»	55,8	107,5
»	51,75	»	55,7	107,45
»	51,6	»	55,7	107,3
»	51,65	»	55,85	107,5
»	51,85	»	56,0	107,85
»	51,45	»	55,95	107,40
»	51,5	»	56,1	107,6
»	51,7	»	55,7	107,4
	53,77		Im Mittel	107,45

In der dritten Columne findet man die Summe der bei jeder einzelnen Oscillation beobachteten Gränzen. Das arithmetiſche Mittel aus dieſer Summe halbirt, giebt die Gleichgewichtslage 53,77 an, um welche das Magnetometer ſchwankte.

Nun wurde der Strom umgekehrt, die Tangentenbuſſole gab nach entgegengeſetzter Richtung eine Ablenkung von 29,3°, die Magnetometerſcala ſchwankte

von Theilſtrich	63,7	bis	56,6	. . .	120,3
»	63,7	»	56,6	. . .	120,3
»	63,8	»	56,6	. . .	120,4
»	63,7	»	56,4	. . .	120,1
»	63,4	»	56,6	. . .	120,0
»	63,65	»	56,35	. . .	120,0
»	63,8	»	56,2	. . .	120,0
»	63,9	»	56,4	. . .	120,3
»	63,4	»	56,3	. . .	119,7
»	63,5	»	56,5	. . .	119,8
	60,05			Mittel	120,1

Die folgende Tabelle giebt nun eine Zuſammenſtellung der Beobachtungen, welche auf dieſe Weiſe mit der erwähnten 3 Decimeter langen Spirale und den oben näher bezeichneten 4 Eiſenſtäben angeſtellt wurden.

a		*b*			
Tangentenbuſſole.	Magnetometer.	Tangentenbuſſole.	Magnetometer.	*s*	*m*
		Stab Nro. 1.			
40,35	32,7	35,9	76,06	0,785	20,41
36,6	34,74	34,75	74,90	0,718	19,01
19,5	45,61	18,5	64,23	0,344	8,80
7,5	51,76	7,25	58,96	0,129	3,41
		Stab Nro. 2.			
48,4	30,6	44,15	77,42	1,045	21,83
33,5	40,87	32,1	69,55	0,644	13,38
22,6	46,47	22,5	64,64	0,414	8,48
14,75	50,09	14,3	61,2	0,259	5,17
7,5	52,98	7	58,49	0,127	2,56

a		*b*			
Tangenten-buſſole.	Magneto-meter.	Tangenten-buſſole.	Magneto-meter.	*s*	*m*
		Stab Nro 3.			
48	40,51	47	69,89	1,091	13,09
31,9	46,72	30,95	65,80	0,611	8,31
22,75	49,37	22,2	62,5	0,414	5,44
12,5	52,35	12,5	59,45	0,221	3,03
7,4	53,76	7	57,76	0,126	1,81
		Stab Nro. 4.			
41,7	52,28	40,4	60,1	0,871	2,61
29,8	53,77	29,3	60,04	0,567	2,29
21,2	54,22	20,6	59,66	0,382	2,15
12,1	54,7	12	58,9	0,213	1,78
7,1	55,26	7	57,91	0,124	1,14
		Spirale ohne Eiſen.			
44,6	53,7	43	56,93	0,959	1,415
34,5	54,18	33	56,2	0,667	1,010

Unter *a* ſtehen die mit der einen, unter *b* die mit der entgegengeſetzten Stromrichtung gemachten Beobachtungen.

Jede der unter der Ueberſchrift »Magnetometer« in der 2ten und 4ten Columne ſtehenden Zahlen iſt die aus 10 beobachteten Oscillationen auf die erläuterte Weiſe abgeleitete Mittelzahl.

In der 5ten Columne unter *s* ſteht die trigonometriſche Tangente des Winkels, welcher das Mittel aus zwei correſpondirenden Ableſungen der Tangentenbuſſole iſt; ſo z. B. iſt 0,785 gleich *tang.* $\frac{40{,}35 + 35{,}9}{2} =$ *tang.* (38° 7,2′).

Die Ablenkung des Magnetometers aus dem magnetiſchen Meridian, welche dieſer mittleren Stromſtärke entſpricht, iſt die halbe Differenz der beiden correſpondirenden Magnetometerableſungen; der Stromſtärke 0,785 entſpricht alſo bei eingeſchobenem Eiſenſtab Nro. 1 die Magnetometerablenkung $\frac{76{,}06 - 32{,}70}{2} = 21{,}68.$

Die Ablenkung des Magnetometers iſt aber nicht allein durch den Magnetismus des Eiſenſtabes, ſondern auch durch die Einwirkung des Stromes in der Spirale bewirkt; um die Einwirkung des Stromes in der Spirale rein zu haben, muß man natürlich die Wirkung der Spirale

von der Totalwirkung abziehen. Um dies ausführen zu können, sind die beiden letzten Beobachtungen obiger Tabelle ohne Einschiebung eines Eisenstabes angestellt worden.

Die durch die Spirale hervorgebrachte Ablenkung des Magnetometers beträgt jenen Versuchen zu Folge 1,415 Theilstriche, für die Stromstärke 0,959 und 1,01 Theilstriche für die Stromstärke 0,667; woraus sich als Mittel für die Stromstärke 1 die Magnetometerablenkung 1,494 ergiebt; daraus folgt nun, daß die ablenkende Wirkung, welche die Spirale allein hervorbringt,

für die Stromstärke	0,1	. . . .	0,149
» » »	0,2	. . . .	0,299
» » »	0,3	. . . .	0,448
» » »	0,4	. . . .	0,598
» » »	0,5	. . . .	0,747
» » »	0,6	. . . .	0,896
» » »	0,7	. . . .	1,046
» » »	0,8	. . . .	1,195
» » »	0,9	. . . .	1,344
» » »	1,0	. . . .	1,494 Theilstriche

beträgt, wonach man für jede Stromstärke leicht die Ablenkung berechnen kann, welche die Spirale allein hervorbringt; so berechnet sich die Wirkung der Spirale für die Stromstärke 0,785 folgendermaßen:

für	0,7	 1,046
»	0,08	 0,119
»	0,005	 0,007
also für	0,785	. . . . . 1,172.

Ziehen wir diese Größe ab von 21,68, also von der Totalablenkung, welche bei der Stromstärke 0,785 Spirale und Eisen hervorbringen, so bleibt 20,41 für die Ablenkung, welche der Magnetismus des Eisens allein hervorgebracht haben würde. Die so berechneten Werthe der Stabwirkung finden sich in unserer Tabelle in der 6ten Columne unter *m*.

Diese Werthe von *m* können wir ohne Weiteres als das Maaß für die Stärke des Stabmagnetismus annehmen.

Diese Methode aus den Beobachtungen, die Ablenkung des Magnetometers aus dem magnetischen Meridian zu bestimmen, setzt stillschweigend voraus, daß sich die Lage des magnetischen Meridians während der Dauer zweier correspondirenden Beobachtungen nicht ändert; durch die Umkehrung des Stromes kam aber häufig das Magnetometer in so bedeutende Oscillationen, daß das Spiegelbild über die Gränzen der Scala hinausging, so daß man längere Zeit, einigemale sogar über eine Stunde, war-

ten mußte, ehe man die Ableſungen beginnen konnte. Unterdeſſen konnnte ſich natürlich die Lage des magnetiſchen Meridians geändert haben, ohne daß man im Stande war, dieſer Aenderung Rechnung zu tragen, während zugleich die Stromſtärke bedeutend abnahm, ſo daß die correſpondirenden Ableſungen der Tangentenbuſſole unter a und b oft bedeutend differiren. Von dieſem Uebelſtande rührt es nun her, daß die aus den Beobachtungen berechneten Reſultate weniger genau ſind, als man es im übrigen von der Ableſungsmethode hätte erwarten ſollen.

Um die Veränderungen in der Lage des magnetiſchen Meridians zu eliminiren, müßte man gleichzeitig den Gang eines zweiten, hinlänglich weit von der Spirale von dem erſten entfernten Magnetometer beobachten, wozu mir die Mittel fehlten.

Viel ließe ſich auch dadurch gewinnen, daß man die Umkehrung des Stromes in einem Momente vornähme, in welchem das oscillirende Magnetometer ſeine Gleichgewichtslage in einer Richtung paſſirt, welche derjenigen gerade entgegengeſetzt iſt, nach welcher durch die Umkehrung des Stromes die Richtung des Magnetometers verändert wird. Durch dieſen Kunſtgriff erreicht man, daß die Oscillationen nicht ſo groß werden, und daß man alsbald nach Umkehrung des Stromes wieder ableſen kann, daß alſo in der Zwiſchenzeit zwiſchen zwei correſpondirenden Beobachtungen keine allzubedeutenden Veränderungen in der Stromſtärke und in der Declination vorgehen. Auf dieſen Kunſtgriff wurde ich leider erſt zu ſpät aufmerkſam.

Mit der ſchon oben erwähnten combinirten blauen und grünen Spirale wurde eine ähnliche Verſuchsreihe angeſtellt. Die eingeſchobenen jetzt abgedrehten Eiſen waren 57 Centimeter lang und hatten folgende Durchmeſſer:

	d	$d^{3/2}$	d^2
1 . . .	12mm	41,56	144
2 . . .	9	27	81
3 . . .	7,1	48	50,4

Die Beobachtungsreſultate ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt:

a		b			
Tangenten-buſſole.	Magneto-meter.	Tangenten-buſſole.	Magneto-meter.	s	m
		Stab Nro. 1.			
37,55	73,08	36	37,01	0,747	16,82
17	69,47	16,5	41,5	0,301	13,09
10,4	67,15	10,3	43,92	0,183	11,61

a		b			
Tangenten-buſſole.	Magneto-meter.	Tangenten-buſſole.	Magneto-meter.	s	m
		Stab Nro. 2.			
35,6	67,27	34 1	44,02	0,699	9,51
22,1	66,72	22	46,41	0,405	8,95
12,7	65,33	12,35	48,15	0,222	7,93
		Stab Nro. 3.			
39,3	65,30	38,8	47,61	0,811	6,48
34	63,96	33,2	47,40	0.667	6,30
13,8	62,74	12,75	50,55	0,236	5,39
		Die Spiralen ohne Eiſen.			
38	57,65	37	53,09	0,767	2,8

Die Erläuterungen, welche für die Tabelle auf Seite 504 gegeben wurden, beziehen ſich auch auf dieſe.

Berechnung der Factoren. Im Paragraph 193 iſt bereits nachgewieſen worden, daß der Zuſammenhang zwiſchen Stromſtärke, Stabdurchmeſſer und der Stärke des Stabmagnetismus durch die Gleichung 195

$$S = a\, d^{3/2}\ tang.\ \frac{m}{b\, d^2}$$

ausgedrückt iſt; es kommt nun darauf an zu unterſuchen, wie weit auch die Reſultate der beiden letzten mit den Magnetometer angeſtellten Verſuchsreihen mit dieſer Gleichung harmoniren. Zunächſt müſſen wir die Werthe der Factoren a und b zu ermitteln ſuchen, welche den beiden Verſuchsreihen entſprechen. Der einfachſte Weg, dies Ziel zu erreichen, ſcheint der zu ſeyn, daß nachdem man für einen beſtimmten Stab den Zahlenwerth von d in die Gleichung geſetzt hat, nun der Reihe nach die zuſammen gehörigen Zahlenwerthe von s und m, wie ſie die Beobachtung gegeben hat, zu ſubſtituiren und ſo eine Reihe von Gleichungen zu bilden, in denen nur noch a und b unbekannt ſind. Aus je zwei dieſer Gleichungen könnte man alsdann a und b berechnen und aus den verſchiedenen ſo erhaltenen Werthen der beiden Conſtanten a und b das Mittel nehmen.

Dieſer Weg iſt aber nicht ausführbar, weil die transſcendente Form der

Gleichung eine einfache algebraische Auflösung nicht gestattet; ich mußte deshalb versuchen, indirect ans Ziel zu kommen.

Für die dickeren Stäbe sind wenigstens für die geringeren Stromstärken m und s einander proportional, so daß man den Bogen für die Tangente setzen kann; dadurch ist es möglich, das Verhältniß von a zu b, also den Werth des Quotienten $\frac{a}{b}$, zu ermitteln. Wenn man für die dünnern Stäbe m und s auf diese Weise graphisch construirt; wie es in Fig. 165 für die früheren Beobachtungen geschehen ist, so kann man das absolute magnetische Maximum für einen solchen dünnen Stab durch Zeichnung wenigstens annähernd ermitteln, und in Folge davon auch einen angenäherten Werth von b erhalten; ist aber b und $\frac{a}{b}$ bekannt, so läßt sich auch leicht der Werth von a bestimmen.

Die so ermittelten Werthe von a und b, bei deren Bestimmung aber noch keineswegs alle Beobachtungen berücksichtigt worden sind, wurden nun in die Gleichung eingeführt, und dann der zu jedem gegebenen Werth von s gehörige Werth von m berechnet, und die berechneten Werthe von m mit den beobachteten verglichen. — Stellte sich bei dieser Vergleichung heraus, daß die Differenzen zwischen dem berechneten und beobachteten m vorherrschend auf eine Seite fallen, so wurde eine entsprechende kleine Veränderung an den Factoren a und b vorgenommen, und so mit Probiren fortgefahren, bis die Summe der positiven Differenzen der Summe der negativen möglichst nahe gleich war.

Auf diese Weise ergaben sich für die erste Versuchsreihe mit der kurzen Spirale als die wahrscheinlichsten Werthe

$$a = 0{,}015$$
$$b = 0{,}00108,$$

so daß die Gleichung jetzt heißt

$$s = 0{,}016\ d^{3/2}\ tang.\ \frac{m}{0{,}00108\, d^2}$$

Nach dieser Gleichung ergaben sich folgende zusammengehörige Werthe von m und s.

s	m		
	beobachtet.	berechnet.	Differenz.
	Stab Nro. 1.		
0,785	20,41	20,06	— 0,35
0,344	8,80	8,81	+ 0,01
0,129	3,41	3,31	— 0,10

s	m		
	beobachtet.	berechnet.	Differenz.
	Stab Nro. 2.		
0,644	13,38	13,37	— 0,01
0,414	8,48	8,68	+ 0,20
0,259	5,19	5,45	+ 0,26
0,127	2,56	2,68	+ 0,12
	Stab. Nro. 3.		
0,611	8,38	8,09	— 0,29
0,414	5,95	5,83	— 0,12
0,221	3,03	3,23	+ 0,20
0,126	1,81	1,87	+ 0,06
	Stab Nro. 4.		
0,871	2,56	2,91	+ 0,35
0,567	2,29	2,61	+ 0,32
0,382	2,15	2,27	+ 1,2
0,213	1,78	1,64	— 0,14
0,124	1,14	1,08	— 0,06

Für die combinirte grüne und blaue Spirale ergab sich

$$a = 0{,}0042$$
$$b = 0{,}0015,$$

wonach sich folgende zusammengehörige Werthe von m und s ergaben.

s	m		
	beobachtet.	berechnet.	Differenz.
	Stab Nro. 1.		
0,747	16,82	16,57	— 0,25
0,301	13,09	12,96	— 0,13
	Stab Nro. 2.		
0,699	9,51	9,81	+ 0,30
0,405	8,95	9,03	+ 0,08
0,222	7,93	7,65	— 0,28

s	m		
	beobachtet.	berechnet.	Differenz
	Stab Nro. 3.		
0,811	6,48	6,40	− 0,08
0,667	6,30	6,32	+ 0,02
0,23	5,39	5,46	+ 0,07

So iſt denn auch durch die mit dem Magnetometer angeſtellten Verſuche die Richtigkeit des in §. 193 aufgeſtellten magnetiſchen Geſetzes beſtätigt worden. Die Differenzen zwiſchen den beobachteten und den berechneten Werthen von m liegen innerhalb der Gränze der Beobachtungsfehler; zur genaueren Beſtimmung der Factoren ſind aber allerdings noch genauere Verſuchsreihen nöthig.

196 **Reduction der Factoren auf beſtimmte Einheiten.** Die Werthe der Factoren a und b, wie dieſelben ſo eben ermittelt wurden, ſind noch ganz und gar mit den Individualitäten der Inſtrumente und des Verſuchs behaftet, wir müſſen ſuchen ſie von denſelben zu befreien.

Der Factor a ändert ſich mit der Einheit, die man für die Stromſtärke annimmt, b dagegen iſt abhängig von der Einheit, die man für das magnetiſche Moment des Eiſenſtabes wählt.

Die Reduction des Factors a auf *chemiſches Maaß* iſt ſehr einfach, man hat die oben für a ermittelten Zahlenwerthe nur mit dem Reductionsfactor der Tangentenbuſſole, welcher in unſerm Falle gleich 70 iſt, (Seite 251) und alsdann noch mit der Anzahl der Windungen zu multipliciren, in welchen der Strom um das Eiſen herumgeführt wird, alſo in dem einen Falle mit $76 \cdot 5 = 380$, im andern mit 780; für die kurze Spirale wird alſo

$$a = 0{,}016 \cdot 380 \cdot 70 = \mathbf{425},$$

für die combinirte blaue und grüne aber iſt

$$a = 0{,}0042 \cdot 780 \cdot 70 = \mathbf{229}.$$

Im Paragraph 193 iſt dieſe Reduction von vorn herein vorgenommen worden. Der Factor b iſt auf *Gauß* und *Weber's* abſolute magnetiſche Maaßeinheit zu reduciren. Zu dieſem Zwecke müſſen wir zunächſt die Ableſungen der Scala in Tangenten des Ablenkungswinkels verwandeln. Es iſt bereits angeführt worden, daß ein von der Umdrehungsaxe des Magnetometers auf die Scala gefälltes Perpendikel die Länge von 2080 Millimeter hat; folglich iſt die Tangente des Ablenkungswinkels,

welchem 1 Theilſtrich der Scala entſpricht gleich $^1/_{4160} = 0{,}00024038$. Die Tangente des Ablenkungswinkels, welche einem Centimeter, alſo der Einheit entſpricht, in welcher unſere Werthe von m ausgedrückt ſind, iſt alſo 0,0024038, oder es iſt $tang.\ v = m\ .\ 0{,}0024038$.

Nun iſt aber das magnetiſche Moment eines Magnetſtabes in abſolutem Maaß ausgedrückt

$$M = T\ .\ r^3\ tang.\ v$$

oder

$$M = T\ .\ r^3\ .\ m\ .\ 0{,}0024038$$

wo für T der Werth für die magnetiſche Erdkraft, für r die in Millimetern ausgedrückte Entfernung des Magnetſtabes von dem Magnetometer, alſo in unſerm Falle $2170^3 = 10218313000$ zu ſetzen.

Für Freiburg können wir $T = 2{,}209$ ſetzen (Seite 252), und ſo ergiebt ſich

$$M = 54260210\ .\ m.$$

Subſtituiren wir nun in unſere Gleichung M für m, machen wir alſo den Zähler des Bruches $\frac{m}{b\,d^2}$ — 54260210mal größer, ſo müſſen wir auch ſeinen Nenner eben ſo viel mal größer machen, wenn der Werth des Bruches ungeändert bleiben ſoll; wollen wir alſo auf abſolutes Maaß reduciren, ſo müſſen wir ſowohl m als b mit 54260210 multipliciren; und ſo werden unſere Gleichungen für die kurze Spirale

$$P = 425\ d^{3/4}\ tang.\ \frac{M}{58600\ d^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad a)$$

für die combinirte grüne und blaue Spirale aber

$$P = 229\ d^{3/4}\ tang.\ \frac{M}{81390\ d^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad b)$$

In dieſen Gleichungen bezeichnet P die auf chemiſches Maaß reducirte und mit der Windungszahl multiplicirte Stromſtärke, M aber das in abſolutem Maaß ausgedrückte magnetiſche Moment des Stabes.

Das abſolute Maximum des Stabmagnetismus. Der größte 197
Werth, den $\frac{M}{B\,d^2}$ (wo $B = 542602106$) erreichen kann, iſt 90^0, es iſt alſo $M = 90^0\ B\,d^2$ das abſolute Maximum, dem ſich das magnetiſche Moment des Stabes mit wachſender Stromſtärke mehr und mehr nähert, ohne jedoch daſſelbe je vollſtändig erreichen zu können.

Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab zu drehen ſtrebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſteht, iſt aber

$$T\ .\ M\ .\ = 90\ .\ T\ .\ B\,d^2 = 90\ .\ 2{,}2\ .\ B\,d^2,$$

wenn $T = 2{,}2$, der Werth für Freiburg, geſetzt wird. Für die in die kurze Spirale eingeſchobenen 33 Centimeter langen Stäbe haben wir alſo

$$TM = 90\ .\ 2{,}2\ .\ 58600\ .\ d^2 = 11247000\ d^2.$$

Soll dieser Werth auf die Schwerkraft reducirt werden, so müssen wir ihn noch mit g, also mit 9808 dividiren (Lehrb. d. Phys. 3. Aufl. 2. Bd. S. 48). Es ergeben sich auf diese Weise für die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die bis zum Maximum magnetisirten 33 Centimeter langen Stäbe bei verschiedener Dicke zu drehen strebt, in Milligrammen ausgedrückt, folgende Zahlenwerthe:

Stabdicke in Millimetern.	Drehungsmoment in Milligrammen.
5	28667
10	114670
20	458680
30	1034030
50	2866750
100	11467000

Hätte also z. B. ein 33 Centimeter langer Eisenstab von 20^{mm} Durchmesser das Maximum des Magnetismus erlangt, dem er sich, in die kurze Spirale eingeschoben, mehr und mehr nähert, wenn die Stromstärke wächst, so würde die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab zu drehen strebt, wenn er rechtwinkelig auf dem magnetischen Meridian steht, gleich seyn dem Druck von 458680 Milligrammen, an einem Hebelarm von 1 Millimeter Länge angebracht, oder, was dasselbe ist, gleich dem Drucke von 45,868 Grammen, welche an einen Hebelarm von 1 Centimeter Länge angreifen.

Die Stäbe von 50 und 100 Millimeter Durchmesser, welche in obigem Tabellchen mit aufgeführt sind, lassen sich freilich nicht in unsere Spirale einschieben; die entsprechenden Werthe des magnetischen Maximums beziehen sich also auf den Fall, daß sie in Spiralen von gleicher Länge, gleicher Windungszahl, aber größerem Durchmesser eingeschoben sind.

Aehnliche Resultate lassen sich auch aus der Gleichung b) für die längeren Spirale berechnen.

198 **Berechnung der Schwingungsdauer der bis zum Maximum magnetisirten Eisenstäbe.** Ist einmal das magnetische Moment eines Stabes bekannt, so ist es leicht, seine Schwingungsdauer für den Fall zu berechnen, daß er, an einem feinen Metalldraht aufgehängt, in horizontaler Ebene frei schwingen könnte; es ist nämlich

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{Cg}}.$$

Setzen wir nun für C seinen Werth $\frac{T.M}{g}$, so kommt

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{T.M}}$$

und also für die in die kurze Spirale eingeschobenen 33 Centimeter langen Eisenstäbe

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{11247000\ d^2}}.$$

Das Trägheitsmoment eines Stabes, welcher um seinen Schwerpunkt oscillirt, ist aber

$$K = \tfrac{1}{3}\ W \frac{l^2}{4},$$

wenn W das Gewicht und l die Länge des Stabes bezeichnet. Für einen 330 Millimeter langen Eisenstab ergiebt sich nach dieser Formel

$$K = 18290000\ d^2$$

also

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{18290000\ d^2}{11247000\ d^2}}.$$

In dem unter dem Wurzelzeichen stehenden Bruche hebt sich d^2 in Zähler und Nenner, und so ergiebt sich endlich

$$t = 4{,}004 \text{ Secunden.}$$

Für die bis zum Maximum magnetisirten Eisenstäbe ist also die Schwingungszeit von dem Durchmesser unabhängig.

Vergleichen wir diese Resultate mit denjenigen, welche Häcker aus seinen Schwingungsversuchen mit magnetisirten Stahlstäben gezogen hat, und welche oben auf Seite 476 bereits erwähnt sind. Der letzte der 6 Magnetstäbe, welche in der kleinen Tabelle aufgeführt wurden, hat ungefähr gleiche Länge mit den in der kurzen Spirale eingeschobenen Eisenstäben; seine Schwingungszeit ist aber 9,23, also 2,3mal größer, das magnetische Moment jenes Stabes also 5,29mal geringer, als das absolute Maximum eines Eisenstabes von gleichen Dimensionen.

Während für Eisenstäbe, welche bis zum absoluten Maximum magnetisirt sind, die Schwingungsdauer bei gleicher Länge auch für verschiedene Durchmesser dieselbe ist, weil das Trägheitsmoment bei wachsendem Durchmesser in demselben Verhältniß wächst, wie das magnetische Moment, nimmt bei möglichst stark magnetisirten Stahlstäben die Schwingungszeit mit dem Querschnitt zu, die dünneren Stäbe sind also verhältnißmäßig stärker magnetisirt als die dicken.

Berechnung der Stromstärke, welche nöthig ist, um in Eisen- 199
stäben einen aliquoten Theil des absoluten magnetischen Maximums zu erzeugen. Ist einmal für eine Magnetisirungsspirale die Gleichung bekannt, welche bei entsprechender Länge der Stäbe die Stromstärke, den Stabdurchmesser und den Stabmagnetismus verbindet, so kann man nach dieser Gleichung leicht berechnen, wie groß die Stromstärke seyn

muß, welche erforderlich iſt, um in einem Stabe von gegebenem Durchmeſſer einen beſtimmten Theil des abſoluten magnetiſchen Maximums zu erzeugen.

Soll z. B. für die kurze Spirale und einen Eiſenſtab von 33 Centimeter Länge berechnet werden, welche Stromſtärke nöthig iſt, um die Hälfte des abſoluten magnetiſchen Maximums zu erzeugen, ſo hat man in Gleichung a) auf Seite 511 $\frac{M}{58600\,d^2}$ gleich 45°, alſo *tang.* $\frac{M}{58600\,d^2} = 1$ zu ſetzen; es iſt alſo

$$P = 425\,d^{3/2}.$$

Da nun aber P gleich iſt der Stromſtärke, multiplicirt mit der Windungszahl, welche in unſerm Falle 380 iſt, ſo haben wir für die Stromſtärke

$$S = \frac{425}{380}\,d^{3/2} = 1{,}14\,d^{3/2}.$$

Danach ergiebt ſich, daß, um in unſerer Spirale einen Stab von 5^{mm} Durchmeſſer bis zur Hälfte ſeines abſoluten Maximums zu magnetiſiren, eine Stromſtärke $1{,}14 . 5^{3}/_{2} = 12{,}768$, alſo ein Strom nöthig iſt, welcher in der Minute nahezu 13 Kubikcentimeter Knallgas liefert. Wie groß das entſprechende magnetiſche Moment des Stabes iſt, ergiebt ſich aus der Tabelle auf Seite 512.

Will man ermitteln, wie groß die Stromſtärke ſein muß, welche 0,3 des abſoluten Maximums erzeugt, ſo hat man zunächſt $\frac{M}{58600\,d^2} = 27°$, alſo *tang.* $\frac{M}{58600\,d^2} = 0{,}509$ zu ſetzen und dann in der Weiſe fort zu rechnen, wie es eben angedeutet wurde.

Auf dieſe Weiſe habe ich berechnet, welche Stromſtärke nöthig iſt, um in einer Spirale von 30 Centimeter Länge und 380 Windungen $^{1}/_{10}$, $^{2}/_{10}$, $^{3}/_{10}$ u. ſ. w. des abſoluten Maximums in 33 Centimeter langen Stäben von 5, 10, 20 u. ſ. w. Millimeter Durchmeſſer zu erzeugen und die Reſultate in der folgenden Tabelle zuſammengeſtellt:

Durchmeſſer der Stäbe.	0 1	0,2	0,3	0,4	0,5
5^{mm}	1,9	4,2	6,6	9,4	12,8
10	5,6	11,7	18,3	26	36
20	16	33	52	74	102
30	29	60	95	136	187
40	45	93	146	209	288
50	64	130	205	292	403
75	117	240	377	537	740
100	180	369	580	827	1140

Durchmesser der Stäbe.	0,6	0,7	0,8	0,9
5mm	16	24	39	81
10	49	70	108	227
20	140	199	306	640
30	257	366	561	1178

Wir ersehen aus dieser Tabelle, daß man in einem Stabe von 5mm Durchmesser dem absoluten Maximum mit mäßiger Stromstärke schon ziemlich nahe kommen kann, denn um 0,9 des absoluten Maximums zu erhalten, bedarf es der Stromstärke 81. Um von 0,8 des absoluten Maximums auf 0,9 zu kommen, bedarf es aber schon einer Steigerung der Stromstärke von 39 auf 81; man übersieht hier schon deutlich, daß, wenn man sich des absoluten Maximum nähert, die Vermehrung der Stromstärke nur eine verhältnißmäßig sehr geringe Vermehrung des magnetischen Momentes bewirkt.

Bei einem Stabe von 10mm Durchmesser ist schon eine sehr bedeutende Stromstärke, nämlich 227, also ein Strom, welcher in der Minute 227 Kubikcentimeter Knallgas liefert und an unserer Bussole ungefähr eine Ablenkung von 71,5° hervorbringen würde, nöthig, um 0,9 des absoluten Maximums zu erreichen.

Wenn eine gegebene Stromstärke in einem gegebenen Eisenstab irgend einen aliquoten Theil des absoluten magnetischen Maximums erzeugt, so wird die nämliche Stromstärke einen dickern Stab nicht bis zu demselben Grade magnetisiren können. In einem Stabe von 10mm Durchmesser z. B. erzeugt die Stromstärke 36, die Hälfte des absoluten magnetischen Maximums; vertauscht man diesen Stab mit einem doppelt so dicken, so ist jetzt bei derselben Stromstärke allerdings das magnetische Moment des dickern Stabes größer, als das des dünnern vorher war, allein in jedem einzelnen Theilchen des dickern Stabes ist der Magnetismus keineswegs so stark entwickelt, als es vorhin bei den dünnern der Fall war; wie wir aus der letzten Tabelle ersehen, wird ein Stab von 20mm Durchmesser durch die Stromstärke 36 nur etwas über 0,2 seines absoluten magnetischen Maximums erhalten. Soll der 20mm dicke Eisenstab auch auf 0,5 seines Maximums gebracht werden, so müßte man die Stromstärke bis auf 102 erhöhen.

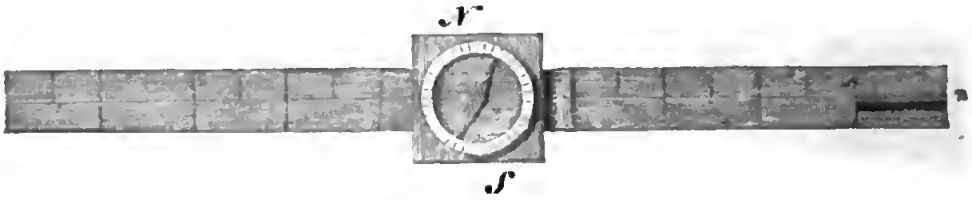
Diese Verhältnisse lassen sich leicht erklären. Gesetzt, ein Eisenstab, sey in die Spirale eingeschoben, durch eine bestimmte Stromstärke bis zu einem gewissen Grade magnetisirt worden; schiebt man nun neben denselben einen zweiten Eisenstab ein, so wirken nun auf jeden Eisenstab zwei entgegenge-

ſetzte magnetiſirende Kräfte, denn der Magnetismus des einen Eiſenſtabes ſtrebt den andern im entgegenſetzten Sinn zu magnetiſiren, wie der Strom in der Spirale, in jedem einzelnen Stabe kann alſo der Magnetismus nicht ſo ſtark entwickelt ſein, als wenn der andere Stab nicht da wäre; durch eine entſprechende Vermehrung der Stromſtärke kann man aber in den combinirten Stäben doch denſelben Grad der Magnetiſirung gleichſam erzwingen, den in dem einzelnen Stabe die geringere Stromſtärke erzeugt.

Was hier von der Einwirkung des einen Stabes auf den andern geſagt wurde, gilt auch von der gegenſeitigen Einwirkung der einzelnen Längenſtreifen unter ſich, in welche man ſich jeden Eiſenſtab zerlegt denken kann.

Betrachten wir die analogen Verhältniſſe bei Stahlmagneten. Legt man, wie Fig. 167 zeigt, einen Magnetſtab öſtlich von der Buſſole auf, ſo er-

Fig. 167.



hält man eine entſprechende Ablenkung; wird nun ein ganz gleicher Magnetſtab bei gleicher Richtung ſeiner Pole weſtlich von der Buſſole in gleicher Entfernung aufgelegt, ſo ſummiren ſich die Wirkungen der beiden Magnetſtäbe, die Ablenkung der Buſſole wird nun doppelt ſo groß ſeyn wie vorher (vorausgeſetzt, daß die Ablenkungen noch klein genug ſind, um die Tangenten den entſprechenden Winkeln proportional zu ſetzen); hätte man aber ſtatt deſſen den zweiten Magnetſtab auf den erſten gelegt und zwar Südpol auf Südpol, Nordpol auf Nordpol, ſo wird man keineswegs eine doppelt ſo große Ablenkung erhalten, wie ſie ein einzelner Magnetſtab hervorbringt.

Dies rührt nun daher, daß der Magnetismus in einem Stahlſtab theilweiſe wenigſtens temporär den im andern aufhebt, ſo daß beide zuſammen weniger ſtark magnetiſirt erſcheinen als ein einzelner. Hier hat man nun kein Mittel, wie die Vermehrung der Stromſtärke bei Eiſenſtäben, welche in eine Magnetiſirungsſpirale eingeſchoben ſind, um in den combinirten Stäben doch wieder denſelben Grad der Magnetiſirung zu erzwingen, daher denn größere Stahlmagnete ſtets ſchwächer magnetiſirt erſcheinen als kleinere, wie wir denn auch oben (Seite 474) geſehen haben, daß die Tragkraft von Stahlmagneten keineswegs ihrem Gewicht proportional zunimmt.

Es wäre wichtig, zu unterſuchen, ob der nachtheilige Einfluß zweier magnetiſchen Stahlſtäbe für verſchiedene Stahlſorten und für verſchiedene Härtungsgrade derſelbe iſt.

Einfluß der Stablänge. Die in den letzten Paragraphen beſpro- 200
chenen Verſuche ſind nicht in der Abſicht angeſtellt worden, um den Einfluß der Länge der Spirale und der Stäbe zu ermitteln, ſie geben deshalb in dieſer Beziehung auch nur ſehr unvollſtändige Auskunft. — Um den Einfluß der Längenverhältniſſe genauer zu erforſchen, hätte man die Längendimenſionen weit mehr abändern und für vollkommen gleiches Verhältniß der Länge der Spirale zur Länge des Stabes ſorgen müſſen.

Die obigen Verſuche ſind nur mit zweierlei Längendimenſionen angeſtellt; einmal mit einer 30 Centimeter langen Spirale, in welche 33 Centimeter langen Stäbe eingeſchoben wurden, dann mit einer Combination von zwei Spiralen, von welchen die innere 54, die äußere 48 Centimeter lang war, während die Länge der eingeſchobenen Stäbe hier 57 Centimeter betrug. Für den erſten Fall haben wir die Gleichung

$$P = 425\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{M}{5860\, d^2},$$

für den letzteren

$$P = 229\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{M}{8139\, d^2}.$$

Die Factoren von $d^{3/2}$, nämlich 425 und 229 ſind ſehr nahe der Länge der entſprechenden Spirale umgekehrt proportional (wenn man bei der Combination der beiden längeren Spiralen die innere als maaßgebend betrachtet); nehmen wir dies Verhältniß als allgemein gerechtfertigt an (wozu jedoch noch weitere Verſuche nöthig ſind), ſo könnte man den Factor a im Mittel gleich $\frac{12558}{l}$ ſetzen, wenn l in Centimeter ausgedrückt iſt, unſere Gleichung hat alſo die Form:

$$P = \frac{12558}{l}\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{M}{b\, d^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad c)$$

in welcher vor der Hand b noch unerörtert bleiben mag.

$P = SW$, d. h. die magnetiſirende Kraft gleich der Stromſtärke, multiplicirt mit der Windungszahl, die Windungszahl iſt aber caeteris paribus proportional der Länge der Spirale, mithin iſt $P = nSl$, wo n ein conſtanter Factor iſt, der uns hier nicht weiter kümmert; wir haben alſo

$$n \,.\, S \,.\, l = \frac{12558}{l}\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{M}{b\, d^2}$$

oder

$$S = \frac{12558}{l^2} \,.\, \frac{d^{3/2}}{n}\, tang.\, \frac{M}{b d^2}.$$

Sollen in zwei Spiralen von verſchiedener Länge, aber ſonſt gleicher Einrichtung, zwei Eiſenſtäbe von gleichem Durchmeſſer und einer der Spirale proportionalen Länge bis zu demſelben aliquoten Theil des abſoluten

Maximums magnetisirt werden, so ist die hierzu erforderliche Stromstärke dem Quadrat der Länge umgekehrt proportional

Hat man z. B. eine bestimmte Stromstärke S nöthig, um einen 10^{mm} dicken, 44 Centimeter langen Eisenstab in einer 40 Centimeter langen, aus drei Lagen gebildeten Spirale zur Hälfte seines absoluten Maximums zu magnetisiren, so wird, um in einer halb so langen, ebenfalls aus drei Lagen desselben Kupferdrahtes gebildeten Spirale einen 10^{mm} dicken, aber nur 22 Centimeter langen Eisenstab gleichfalls auf die Hälfte seines absoluten magnetischen Maximums zu bringen, eine Stromstärke $_4S$ nöthig.

Gelänge es, in den Factor b der Gleichung c) gleichfalls den Einfluß der Längendimensionen einzuführen und also auch nach dieser Seite hin die Gleichung zu verallgemeinern, so würde die Gleichung c) das von allen Specialitäten entkleidete Gesetz des Elektromagnetismus darstellen.

Auf den ersten Anblick scheint es, als könne wohl der Factor b der Stablänge proportional seyn, allein während der Quotient der Länge $\frac{57}{33} = 1{,}72$ ist, ergiebt sich der Quotient der Factoren $\frac{8139}{5860} = 1{,}38$, eine Differenz, welche zu groß ist, als daß man jene Proportionalität annehmen könnte; sie ist zu groß, als daß sie auf Rechnung von Beobachtungsfehlern gesetzt werden dürfte; nur wenn es sich um eine aller erste ganz grobe Annäherung handelt, welche in manchen Fällen ganz erwünscht seyn dürfte, könnte man den Factor b der Spirallänge proportional setzen, vorausgesetzt, daß Spiral- und Stablänge stets in gleichem Verhältniß stehen; als erste Annäherung könnte man also die Gleichung

$$P = \frac{12558}{l}\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{M}{172\, l\, d^2}$$

anwenden.

So habe ich denn die Gesetze der Magnetisirung von Eisenstäben durch den galvanischen Strom bis zu dem Punkte entwickelt, daß zum völligen Abschluß nur noch eine genauere Ermittelung des Einflusses erforderlich ist, welchen Stab- und Spiralenlänge ausüben. — Mancherlei Umstände machen es mir gegenwärtig unmöglich, solche Versuchsreihen anzustellen, wie sie zur Lösung dieser Fragen erforderlich wären; ich muß mir dies für eine spätere Zeit vorbehalten, wenn nicht, was mich sehr freuen sollte, geschicktere Experimentatoren, denen auch mehr Hülfsmittel zu Gebote stehen, diesen wichtigen und interessanten Gegenstand aufnehmen und fortführen.

201 **Concentration des Magnetismus auf der Oberfläche magnetischer Körper?** Haldat beschreibt in der Annales de chimie et de Physique (3e série, T. II, p. 457) einige Versuche, welche beweisen sollen, daß der Magnetismus sich vorzugsweise auf der Oberfläche der

Magnete und Elektromagnete verbreitet. So steckte er z. B. in eine Magnetisirungsspirale eine Röhre von Eisen (ein Stück Flintenlauf) und fand die Tragkraft gleich, mochte nun die Höhlung der Röhre frei oder durch einen Eisencylinder ausgefüllt seyn; eben so fand er, daß eine Magnetnadel, in deren Nähe jener Elektromagnet aufgestellt war, gleich schnell oscillirte, es mochte nun ein Eisenstab in der Höhlung stecken oder nicht.

Jedenfalls sind diese Versuche nicht mit hinreichender Umsicht und Genauigkeit ausgeführt, sonst hätten sie nicht zu einem Resultat führen können, welches mit den so eben entwickelten Gesetzen des Elektromagnetismus unverträglich ist.

Ganz direct wird Haldat's Behauptung durch folgenden Versuch Poggendorff's widerlegt.

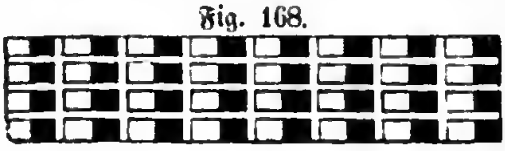
In eine Magnetisirungsspirale von 4 Zoll Länge und 8 Linien innerem Durchmesser paßt ein hohler Eisenkern von 4½ Zoll Länge, der sich willig in die Hülse schieben läßt. In die Höhlung dieses Eisenkerns, welche 4 Linien Durchmesser hat, läßt sich wiederum willig ein 4 Linien dicker massiver Eisenstab einschieben.

Wenn nun diese beiden Kerne in die horizontale Spirale eingeschoben sind, daß die Mitte des hohlen mit der Mitte der Spirale zusammenfällt, der innere solide aber an einem Ende ein wenig, etwa 1 Linie aus dem hohlen hervorragt, so wird der solide Eisenkern in dem Moment, in welchem durch die Spirale eine galvanische Batterie geschlossen wird, bis etwa zur Hälfte gewaltsam herausgestoßen (P. A. LXXIV. 240).

Dies beweist unwiderleglich, daß durch den Strom auch der innere Eisenkern, und zwar gleichnamig mit den hohlen magnetisirt wird.

Vertheilung des Magnetismus in Stahlmagneten und Elek- 202
tromagneten. Unter diesem Titel findet sich im LXX. Bande von Poggendorff's Annalen S. 1 eine Abhandlung von R. van Rees, deren Inhalt im Wesentlichen folgender ist: Es ist eine bekannte Thatsache, daß in der Mitte eines regelmäßig magnetisirten Stahlstabes kein freier Magnetismus nachzuweisen ist, daß aber die Stärke desselben mit entgegengesetzter Polarität nach den Enden hin zunimmt; wir wissen aber sehr wohl, daß dies nicht daher rührt, daß auf der einen Hälfte des Magnetstabes nur Nord-, auf der anderen nur Südmagnetismus vorhanden ist, sondern daß in jedem einzelnen Eisenpartikelchen eine Trennung der Polaritäten stattfindet, und daß man sich den magnetischen Zustand eines magnetisirten Stahlstabes ungefähr so vorzustellen hat, wie dies durch Fig. 168 versinnlicht wird.

Fig. 168.



Van Ree's hat nun Be-

trachtungen darüber angeſtellt, ob wohl durch die ganze Länge des Magnetſtabes hindurch die magnetiſche Polarität der einzelnen Partikelchen gleich ſtark, oder ob ſie in der Mitte des Stabes oder an ſeinen Enden am ſtärkſten entwickelt iſt. In etwas veränderter Form iſt ſeine Schlußweiſe folgende:

In Fig. 169 ſtelle $a\,b$ ein magnetiſches Partikelchen dar, ſo iſt ſeine Wirkung in die Ferne dieſelbe, als ob eine entſprechende Quantität Nord- und Südmagnetismus in zwei Punkten des Partikelchens vereinigt wäre, die zu beiden Seiten gleich viel von ſeiner Mitte abſtehen. Dieſe Punkte können wir nach Belieben in c und d, oder an ſeinen Enden in a und b, oder endlich auch noch etwas über ſeine Enden hinaus in f und g annehmen, d. h. mit anderen Worten: eine beſtimmte Quantität Nord- und Südmagnetismus in f und g, oder eine entſprechende Quantität in a und b, in c und d, würde in die Ferne dieſelbe Wirkung wie das ganze Partikelchen ſelbſt hervorbringen können. Sind nun 1, 2, 3 Fig. 170 eine Reihe magnetiſcher Partikelchen, ſo kann man die entſprechenden Mengen der magnetiſchen Fluida immer in den Punkten vereinigt denken, welche in der Mitte zwiſchen zwei Partikelchen liegen; es wären alſo gewiſſermaßen a und b die Pole von 1, b und c die von 2, c und d die von 3. In a wäre der Nordmagnetismus von 1, in d der Südmagnetismus von 3; in b fällt der Südmagnetismus von 1 und der Nordmagnetismus von 2 zuſammen. Der Nordmagnetismus von 3 fällt mit dem Südmagnetismus von 2 auf den Punkt c.

Fig. 169.

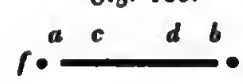
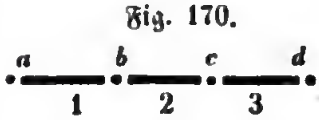
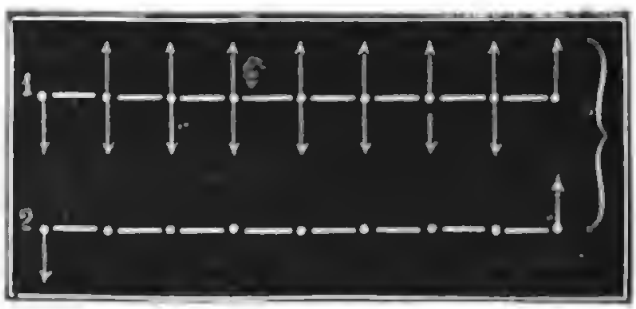


Fig. 170.



Adoptiren wir dieſe Vorſtellungsweiſe, ſo läßt ſich leicht entwickeln, welche Erſcheinungen ein Magnetſtab hervorbringen muß, je nachdem alle ſeine Partikelchen gleich ſtark magnetiſch ſind, oder die Polarität der Partikelchen von der Mitte zu den Enden hin zu- oder abnimmt. Betrachten wir die drei Fälle näher.

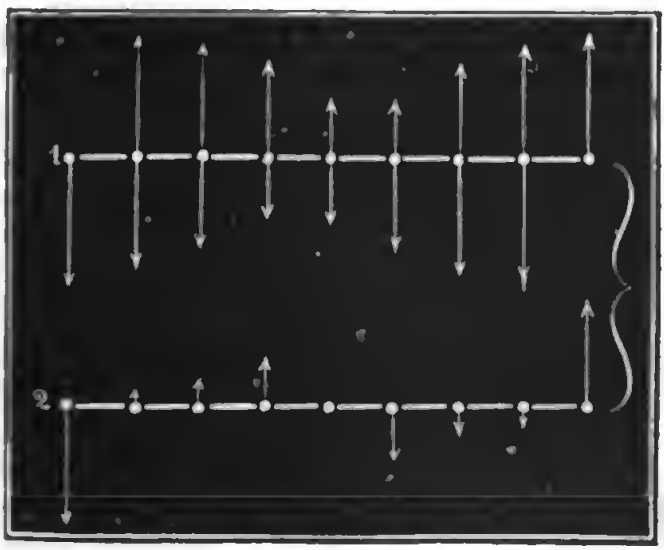
Fig. 171.



1) Die magnetiſche Polarität ſey in allen Partikelchen der ganzen Länge des Stabes nach gleich ſtark entwickelt, ſo ſtellt uns 1. Fig. 171 den Zuſtand eines ſolchen Stabes dar,

wenn wir durch die aufwärts gerichteten Pfeilchen den Nord-, durch die abwärts gerichteten den Südmagnetismus darstellen. Da nun in jedem dieser Punkte gleich viel Nordmagnetismus (dem Theilchen links zugehörig) und gleichviel Südmagnetismus (dem Theilchen rechts zugehörig) zusammenfällt, so kann in allen diesen Punkten kein freier Magnetismus auftreten, und wenn wir nur den freien Magnetismus berücksichtigen, so stellt uns also 2 Fig. 171 den Zustand des Stabes vor. Freier Magnetismus zeigt sich nur an den Endflächen, im übrigen ist der ganzen Länge des Stabes nach kein freier Magnetismus mehr vorhanden. Ein solcher Magnet müßte also nach Außen gerade so wirken, als ob seine Endflächen allein magnetisch wären, und zwar die eine mit Nord- die andere mit Südmagnetismus beladen. Die Pole eines solchen Magneten würden also auch genau auf die Endflächen fallen. Man weiß, daß dies bei gewöhnlichen Magneten nicht stattfindet, daß bei diesen die Pole stets mehr nach Innen liegen. Dagegen ist die Wirkung einer elektromagnetischen Spirale gerade so, wie sie bei einem Magnete seyn würde, dessen einzelne Theilchen alle ein gleich starkes Moment haben. Vielleicht hängt damit zum Theil die von Poggendorff gemachte Beobachtung des verschiedenen Verhaltens hohler Magnetstäbe und galvanischer Schraubendrähte zusammen. Schiebt man vorsichtig eine etwa 9 Linien lange magnetische Nähnadel in die mit einer Glasröhre ausgefütterte Höhlung eines hohlen Magnetstabes, welcher aufrecht steht, und zwar so, daß Nadel und Stab die gleichnamigen Pole nach Oben gekehrt haben, so wird die Nadel nicht herabfallen, sondern zum Theil aus dem Magneten hervorragend, oben schweben.

Fig. 172.



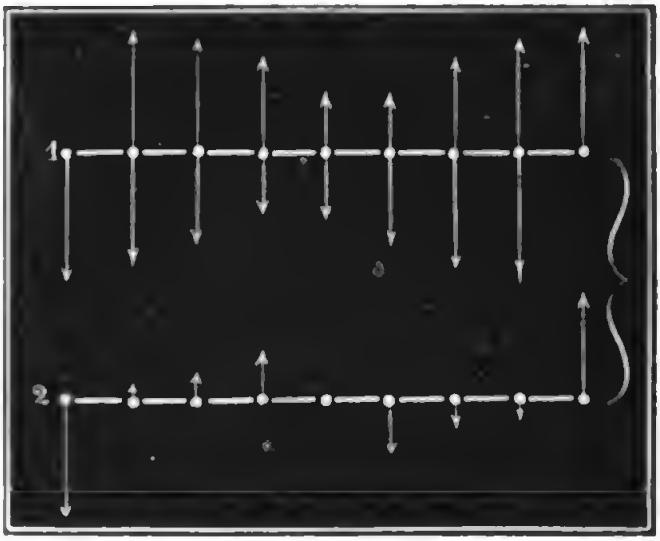
Man kann sie sogar eine Strecke hinunterdrücken, und sie steigt nach Aufhebung des Druckes wieder in die Höhe. Bei einem galvanischem Schraubendraht aber begiebt sich die Nadel sogleich in die Mitte und bleibt dort schweben, wenn der Strom stark genug ist.

Eine nähere Untersuchung dieser

Erſcheinung behufs ihrer theoretiſchen Erläuterung wäre ſehr zu wünſchen.

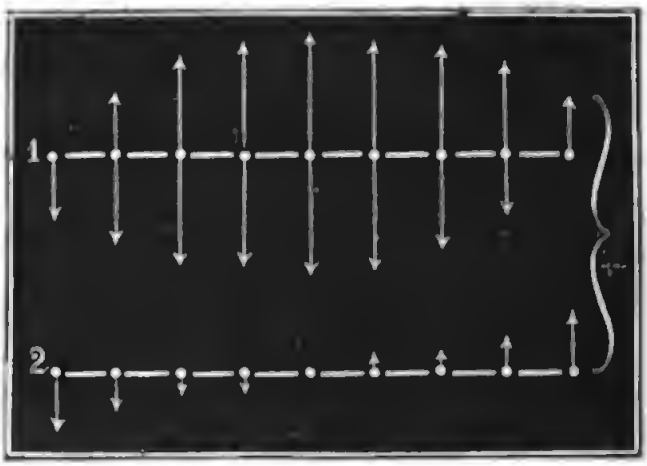
2) Wenn die magnetiſche Polarität der Theilchen in der Mitte am ſchwächſten entwickelt wäre und gegen die Enden hin zunähme, wie dies in 1 Fig. 173 verſinnlicht iſt, ſo würde ſich eine Vertheilung des freien Magnetismus ergeben, wie ſie in 2 Fig. 173 dargeſtellt iſt. In der Mitte des Magneten würde der freie Magnetismus 0 ſeyn und von dort gegen die Enden anfangs zu- und dann wieder abnehmen, um in den entgegengeſetzten Magnetismus überzugehen; auf der einen Hälfte des Stabes wäre alſo freier Nordmagnetismus, während die Endfläche ſüdmagnetiſch iſt; die andere Hälfte mit freiem Südmagnetismus hätte ein nordmagnetiſches Ende. Eine ſo ſonderbare Vertheilung des freien Magnetismus findet bekanntlich bei normal magnetiſirten Stahlſtäben durchaus nicht Statt.

Fig. 173.



3) Nehmen wir an, die magnetiſche Polarität der Theilchen ſey in der Mitte am ſtärkſten entwickelt, und nehme von da nach den Enden hin ab, wie es 1 Fig. 174 verſinnlicht, ſo ergiebt ſich daraus eine Vertheilung des freien Magnetismus, wie ſie in 2 Fig. 174 dargeſtellt iſt. In der Mitte iſt der freie Magnetismus ebenfalls 0; von da wächſt auf der einen Seite der freie Nordmagnetismus, auf der andern der freie Südmagnetismus bis ans Ende.

Fig. 174.



Da dies in der That die Art der Vertheilung des freien Magnetismus in normal magnetisirten Stahlstäben ist, so sind wir zu der Annahme berechtigt, daß in ihnen die magnetische Polarität der Theilchen in der Mitte stärker entwickelt ist, als gegen die Enden hin.

Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht auch die Thatsache, daß wenn man eine Reihe von Stahlstäbchen hinter einander legt, wie es Fig. 175 angedeutet ist, und sie dann so behandelt, wie einen einzigen langen Stahlstab, den man magnetisiren will, daß alsdann nach dem Auseinandernehmen die Stäbchen einen um so stärkeren Magnetismus zeigen, je näher sie während des Streichens der Mitte lagen.

Fig. 175.

Auch in Elektromagneten findet diese Vertheilungsweise Statt, auch hier sind die magnetischen Polaritäten der einzelnen Theilchen in der Mitte des Stabes stärker entwickelt als an den Enden. Jakobi und Lenz haben dies auf experimentellem Wege nachgewiesen (P. A. LXI. 271.). Die Eisenstäbe wurden in eine Magnetisirungsspirale geschoben, welche nur durch eine Lage eines $^3/_4$ Linien dicken Kupferdrahtes gebildet war. Auf dieser Magnetisirungsspirale war nun eine 1 Zoll lange aus 123 Windungen eines dünnen Drahtes bestehende Inductionsspirale verschiebbar, wie es Fig. 176 angedeutet ist. Der durch die Unterbrechung des Magnetisirungsstromes in der kurzen Spirale hervorgerufene, größtentheils von dem verschwindenden Magnetismus des Eisenstabes herrührende Inductionsstrom zeigte sich am stärksten, wenn die Inductionsspirale sich in der Mitte zwischen den beiden Enden des Eisenstabes befand; er nahm um so mehr ab, je näher die Inductionsspirale dem Ende des Stabes war.

Fig 176.

Auf diese Weise wurden Versuche mit vielen Eisenstäben von verschiedener Länge angestellt, die folgende Tabelle theilt als Beispiel die Resultate der Versuche mit den längsten dieser Stäbe (4′ lang) im Auszug mit.

Entfernung der Mitte der Inductionsspirale von der Mitte der Stange.	Halber beobachteter Ablenkungswinkel $^1/_2\ \alpha$.	$\sin.\ ^1/_2\ \alpha$.
0	31° 48′	0,527
7	31 22	0,520
15	29 21	0,490
31	21 10	0,361
47	3 57	0,069

Die Einheit, nach welcher die Entfernungen in der erſten Columne gezählt ſind, iſt ½ Zoll. Die Zahlen der zweiten Columne ſind das Mittel aus zwei Beobachtungen, welche in gleichen Entfernungen von der Mitte auf der rechten und linken Seite angeſtellt wurden. Die Tabellen des Originals enthalten die Beobachtungen für die Entfernungen 1, 3, 5 u. ſ. w., kurz für alle ungeraden Werthe die Entfernung von der Mitte bis ans Ende.

Nach obiger Tabelle iſt die graphiſche Darſtellung, Fig. 177. entworfen, und zwar ſind die Abſciſſen der Entfernung von der Mitte, die Ordonaten den entſprechenden Werthen von *sin.* ½ α proportional.

Fig. 177.

Lenz und Jakobi halten ſich für berechtigt, anzunehmen, daß der gemeſſene Inductionsſtrom proportional ſey der ganzen Quantität des magnetiſchen Fluidums, welches in dem unmittelbar unter der Inductionsſpirale befindlichen Stabſtück zerlegt iſt, demnach würde die Kurve Fig. 177. das Geſetz der wahren magnetiſchen Vertheilung in einem 4füßigen Magneten darſtellen. Dieſe Kurve erſcheint in der That nahe zu als eine Parabel, deren Gleichung

$$z = a - bx^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

iſt, in welcher z die Stärke der magnetiſchen Vertheilung in einem Querſchnitt des Eiſenſtabes bezeichnet, deſſen Entfernung von der Mitte x iſt. a und b ſind Conſtante, welche für jeden Stab beſonders beſtimmt werden müſſen.

Dieſe Formel ſtimmt für die mittleren Theile des Stabes ziemlich gut mit den Beobachtungen überein, gegen das Ende des Stabes aber werden die Differenzen zwiſchen Rechnung und Beobachtung zu groß, als daß man ſie auf Rechnung von Beobachtungsfehlern ſetzen könnte.

V. Rees hat das Geſetz der wahren Vertheilung des Magnetismus in einem Magnetſtab aus den Beobachtungen abzuleiten geſucht, welche Coulomb über Vertheilung des freien Magnetismus in magnetiſirten Stahldrähten angeſtellt hat, und iſt auf dieſe Weiſe zu der Gleichung

$$z = a - b\,(m^x + m^{-x}), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

der Gleichung einer Kettenlinie gelangt, in welcher z und x dieſelbe Bedeutung haben wie in Gleichung 1) Seite 524, a, b und m aber drei Conſtante ſind, die für jeden Magnetſtab beſonders beſtimmt werden müſſen.

Van Rees hat nun gezeigt, daß auch für elektromagnetiſche Eiſenſtäbe die Kettenlinie das Geſetz der wahren Vertheilung des Magnetismus weit treuer darſtelle, als die Parabel, und die von Lenz und Jakobi angeſtellten Beobachtungen weit beſſer mit Gleichung 2) als mit Gleichung 1) übereinſtimmen.

Auch für Stahlmagnete wurde von V. Rees die Induction angewandt, um das Geſetz der wahren Vertheilung des Magnetismus experimentell zu beſtimmen. Da man aber den Magnetismus eines Stahlmagneten nicht plötzlich vernichten kann, wie beim Elektromagneten, ſo muß die Induction durch Bewegen der Inductionsſpirale hervorgebracht werden. V. Rees verfuhr ſo, daß er die Inductionsſpirale, von der Mitte des Magnetſtabes, ſo wie von verſchiedenen andern Stellen ausgehend, über das nächſte Ende des Stabes ſchnell abſtreifte; und die entſprechende Ablenkung eines in den Schließungsbogen der Inductionsſpirale eingeſchalteten Multiplicators beobachtete; die folgende Tabelle giebt die Reſultate, welche er mit einem 50 Centimeter langen Magnetſtabe und einer 20 Millimeter langen Inductionsſpirale erhielt.

Entfernung von der Mitte.	Ablenkung der Nadel.
0	46° 38′
4	45 56
8	44 19
16	37 24
30	9 30

Aehnliche Verſuchsreihen hat er noch mit anderen Magnetſtäben angeſtellt.

Bezeichnet man die Entfernung der Mitte der Inductionsſpirale von der Mitte des Stabes, unmittelbar vor den Beginn des Abſtreifens mit x, den Sinus des entſprechenden halben Ablenkungswinkels mit z, ſo paſſen die zuſammengehörigen Werthe von x und z recht gut in die Gleichung 2). V. Rees nimmt nun an, daß der Sinus des Ablenkungswinkels ein Maaß ſey für das magnetiſche Moment derjenigen Stelle des Magnetſtabes, welche von der Spirale bedeckt wurde, als man dieſelbe abzuſtreifen begann. Eine Rechtfertigung dieſer Anſicht hat V. Rees

nicht für nöthig gehalten, mir aber ſcheint ihre Zuläſſigkeit noch ſehr zweifelhaft, denn auf die Stärke des Inductionsſtromes wirken alle Stellen des Stabes, über welche die Spirale hingeſchoben, nicht bloß die, von welchen aus ſie weggezogen wird. Ebenſo halte ich es nicht für erwieſen, daß bei den Verſuchen der Petersburger Phyſiker der Inductionsſtrom lediglich von der bedeckten Stelle der Spirale herrührt; ſie führen zwar zur Begründung ihrer Anſicht die Thatſache an, daß die Spirale, nur etwas über das Ende des elektromagnetiſchen Eiſenſtabes hinausgeſchoben, kaum einen merklichen Inductionsſtrom zeigt; wenn aber auch das ſchwach magnetiſche Stabende in der ihm nahe gehaltenen Spirale nur einen ſehr ſchwachen Strom erzeugt, ſo folgt daraus noch keineswegs, daß man den Einfluß der benachbarten Schichten auch dann vernachläſſigen dürfe, wenn die Spirale wirklich auf den Stab aufgeſchoben iſt, einmal, weil man es hier mit ſtärker magnetiſchen Schichten zu thun hat, als am Stabende, und dann, weil die Wirkungen der benachbarten Schichten auf der einen und der andern Seite ſich unterſtützen. Es iſt demnach allerdings noch zweifelhaft, ob die Methode der Inductionsſtröme, wie ſie Lenz und Jakobi, oder wie ſie V. Rees anwandte, unmittelbar zum Geſetz der wahren Vertheilung des Magnetismus in Elektromagneten oder in Stahlmagneten führen kann.

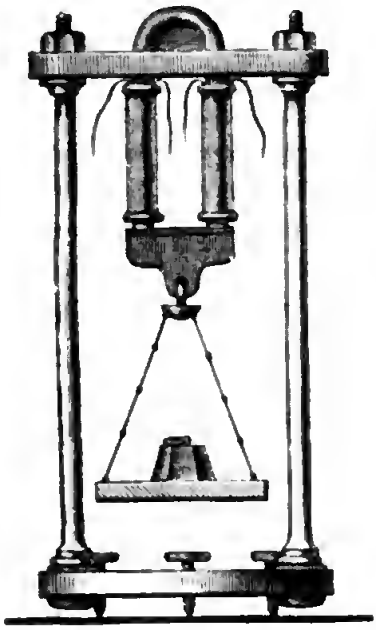
Meine oben, in Paragraph 194 angeführten Verſuche ſcheinen ebenfalls darauf hinzudeuten, daß in einem elektromagnetiſchen Stabe der Magnetismus keineswegs der ganzen Länge nach gleichförmig entwickelt iſt; wäre dies der Fall, ſo müßte der Factor b der Stablänge proportional ſein, während ich ihn für den längeren Stab verhältnißmäßig kleiner gefunden habe. Höchſt wahrſcheinlich würden ſolche Verſuche, mit Stäben und Spiralen von ſehr verſchiedener Länge ausgeführt, Anhaltspunkte liefern, um auf das Geſetz der wahren magnetiſchen Vertheilung in Elektromagneten einen Schluß zu ziehen.

203 **Neue Verſuche über die Tragkraft der Elektromagnete.** Nachdem meine Unterſuchungen über das magnetiſche Moment von Elektromagneten zur Ermittelung wichtiger Geſetze geführt hatte, ſah ich mich veranlaßt auch über die Tragkraft der Elektromagnete neue Verſuche anzuſtellen.

Da die Mittel unſerer Anſtalt es nicht erlaubten, zur Meſſung der Tragkraft von Elektromagneten ſo genau gearbeite Hebelapparate anzuwenden, wie ſie von Lenz und Jakobi ſowohl als auch von Pfaff benutzt und in den bereits citirten entſprechenden Abhandlungen beſchrieben wurden, ſo beſchränkte ich meine Verſuche auf kleinere hufeiſenförmige Elektromagnete, bei welchen ein directes Anhängen der Laſt noch

wohl thunlich war. Der Apparat, welchen ich anwandte und welcher auch für Vorlesungsversuche ganz zweckmäßig sein dürfte, ist Fig. 178 abgebildet.

Fig. 178.



In einem runden oder ovalen Brette, welches mit drei Stellschrauben versehen ist, sind zwei eiserne Säulchen befestigt, welche Oben ein Querstück von Holz tragen; durch zwei Löcher desselben ist das Uförmige weiche Eisen gesteckt, und in seiner Mitte noch durch ein halbkreisförmiges Holzklötzchen getragen.

Die Versuche erstrecken sich auf sechs Hufeisen; drei davon, I., II. und III. hatten einen Durchmesser von 10 Millimeter, während die drei folgenden IV., V. und VI. nur 6,5 Millimeter Durchmesser hatten. Die unter dem Tragbrettchen hervorragenden Schenkel hatten folgende Längen

I. und IV.	. . .	16,5 Centimeter
II. und V.	. . .	8,5 »
III. und VI.	. . .	5 »

Auf diese Schenkel wurden nun die Magnetisirungsspiralen aufgeschoben; sie waren auf Hülsen von Holz gewickelt, die einen inneren Durchmesser von 12^{mm} hatten; sie wurden mit Hülfe von Korken auf den dünneren Eisen befestigt. Solcher Spiralen wurden 4 Paar in Anwendung gebracht, welche folgende Einrichtung hatten.

I.	bestand	aus	2	Lagen,	jede	von	123	Windungen,	Länge	14 Centimeter.
II.	»	»	4	»	»	»	57	»	»	6,8 »
III.	»	»	2	»	»	»	51	»	»	6,8 »
IV.	»	»	2	»	»	»	24	»	»	3 »

Außer den Magnetisirungsspiralen war natürlich auch noch die Tangentenbussole in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet.

Der Anker war ähnlich geformt, wie bei den Logeman'schen Magneten, über das Tragbrett hingen Schnüre herab, welche den Anker gleich nach den Abreißen auffangen mußten. Die Wagschale war von einer kleiner Brückenwage genommen. Anker und Wagschale zusammen hatten ein Gewicht von 375 Gramm.

Unter dem Brette der Wagſchale war ein Holzklotz angebracht, ſo daß beim Abreißen des Ankers die Wagſchale aufgefangen wurde, und zwar noch um etwas früher, als der Anker ſelbſt in den bereits angeführten Schnüren.

Die folgende Tabelle giebt die Reſultate der auf dieſe Weiſe angeſtellten Verſuche.

Eiſen.	Spirale.	v	$n \cdot tang\ v$	Tragkraft in Grammen.
I.	I.	2,5	22	7100
—	—	6,1	53	8500
—	—	10,1	87	9800
—	—	13,4	117	10400
—	II.	3,6	29	8300
—	—	6°	48	9300
—	—	11°	88	10500
—	—	14,5	118	10700
—	—	18,2	150	11100
—	III.	2°	7	3900
—	—	4,4	16	6500
—	—	6	21	7500
—	—	11,75	43	9000
—	—	13.	47	9600
—	—	15	54	10000
—	IV.	2,75	5	1900
—	—	3,75	6	3600
—	—	6,25	10	5300
—	—	17,1	29	7900
—	—	18°	31	8400
II.	II.	3,5	28	7400
—	—	6,25	50	9100
—	—	11,5	93	9700
—	—	15	120	10400
—	III.	3,75	13	4600
—	—	5,75	21	5700
—	—	9,25	33	7200
—	—	17	61	8300
III.	IV.	4,5	8	3100
—	—	13°	22	7400
—	—	20	26	8400

Eiſen.	Spirale.	n	$n \cdot tang\ v$	Tragkraft in Grammen.
IV.	I.	2,5	22	2300
—	—	4,1	35	3100
—	—	5,5	47	3700
—	—	6,4	54	4000
—	—	9,5	72	4600
—	—	14	122	5200
—	—	19	169	5400
—	II.	2	16	2000
—	—	3,25	26	3000
—	—	6	48	4000
—	—	8,75	70	4600
—	—	13,5	109	5300
—	—	18,5	152	5500
—	III.	7	25	2400
—	—	11,25	41	3800
—	—	15,25	56	4500
—	—	21	78	5000
V.	II.	3,75	30	3200
—	—	7,5	60	4700
—	—	10	80	5100
—	—	13,5	109	5400
—	III.	10,4	37	3900
—	—	13,25	48	4400
—	—	17,75	65	4900
—	IV.	4,5	8	1100
—	—	12	20	2900
—	—	14,5	25	3300
—	—	19	33	3700
VI.	—	4	7	1300
—	—	12	20	3400
—	—	19	33	3700

Die dritte Columne dieſer Tabelle enthält unter v die an der Tangentenbuſſole abgeleſenen Winkel, die vierte aber enthält das Product der trigonometriſchen Tangente der Ablenkungswinkel mit der Anzahl der Windungen, in welchen der Strom um das Eiſen herumgeführt iſt; die Spirale Nr. I. z. B. hat 2 Lagen von 123 Windungen, alſo zuſammen 246 Windungen. Nun aber ſteckt an jedem Schenkel des Eiſens eine ſolche Spirale, folglich iſt n in dieſem Falle 492. Für die Spirale II. iſt $n = 456$; für III. iſt $n = 204$, für IV. iſt $n = 96$.

Wir können das Product n *lang.* v füglich mit dem Namen der magnetiſirenden Kraft bezeichnen.

Für die dicken und dünneren Elektromagnete wurde derſelbe Anker angewandt.

Die letzte Columne enthält die Angabe des Gewichtes (Gewicht des Ankers der Wagſchale und des auf dieſelbe gelegten Gewichtes) in Grammen ausgedrückt, bei welchem der Anker abriß.

Ein oberflächlicher Blick auf dieſe Tabelle zeigt ſchon, daß die Tragkraft auch nicht entfernt dem Quadrat der magnetiſirenden Kraft proportional iſt.

204 **Einfluß der Länge des Eiſens und der Spiralen auf die Tragkraft.** Betrachten wir die Verſuche, welche mit dem Eiſen Nr. I, alſo dem längſten unter den drei dickern Eiſen angeſtellt wurden, ſo ſehen wir, daß bei gleicher magnetiſirenden Kraft nahe zu dieſelbe Tragkraft erzielt wird, mag man nun eine längere oder kürzere Spirale anwenden, was noch deutlicher hervortritt, wenn man dieſe Tabelle graphiſch vorzeichnet. Die kürzeſte aller Spiralen Nr. IV. giebt für die magnetiſirende Kraft 6 die Tragkraft 3600, während mit der doppelt ſo langen Spirale Nr. III. die Tragkraft 3900 mit der magnetiſirenden Kraft 7 erhalten wird. — Für die magnetiſirende Kraft 29 erhält man nahe zu gleiche Tragkräfte mit der IV. und II. Spirale. — Die längſte Spirale ſcheint verhältnißmäßig die geringſte Wirkung zu geben, denn während bei der dritten Spirale den magnetiſirenden Kräften 21 und 54 die Tragkräfte 7500 und 10000 entſprechen, finden wir für die lange Spirale für die magnetiſirenden Kräfte 22 und 53 nur die Tragkräfte 7100 und 8500; übrigens mögte das Zurückbleiben in der Wirkung der langen Spirale gegen die übrigen in den Beobachtungsfehlern ſeinen Grund haben, zu welcher Annahme wir um ſo mehr berechtigt ſind, als ſich bei den Beobachtungsreihen mit dem längeren dünnen Eiſen Nr. IV. die lange Spirale Nr. I. ebenſo wirkſam zeigt als die andern, und ferner, weil auch die Spiralen Nr. II. und III. in ihrer Wirkung keineswegs gegen die der kürzeſten Nr. IV. zurückbleiben. Unſere Verſuchsreihen rechtfertigen alſo den Schluß:

Wenn um ein Uförmig gebogenes Eisen ein galvanischer Strom in einer bestimmten Anzahl von Windungen herumgeführt wird, so erlangt es dieselbe Tragkraft, mögen nun diese Windungen die ganze Länge der Schenkel bedecken, oder nur über einen Theil der Schenkel in mehreren Lagen übereinander liegen.

So haben die Spiralen I. und II. fast gleich viel Windungen, welche bei I. eine lange Spirale mit zwei Lagen, bei II. eine kürzere mit 4 Lagen bilden; im Effect sind sich beide Spiralen gleich.

Auch ist es ziemlich gleichgültig, an welcher Stelle der Schenkel die Spiralen angebracht sind. Das Eisen Nr. I. erhielt durch die kurze Spirale Nr. IV. bei gleicher Stromstärke fast genau dieselbe Tragkraft, mogte nun die Spirale ganz unten bei den Polen sich befinden, oder möglichst weit hinauf bis an das Tragbrett geschoben seyn.

Betrachten wir nun den Einfluß, welchen die Länge der Schenkel des Eisens auf die Tragkraft ausübt. — Die gleich dicken aber ungleich langen Eisen, Nr IV., V. und VI. zeigen bei gleicher magnetisirender Kraft nahezu gleiche Tragkraft; bei den dickeren Eisen sehen wir freilich II. gegen I. zurückbleiben, da aber das kürzeste der dickeren Eisen Nr. III. kein solches Zurückbleiben gegen Nr. I, zeigt, so dürfen wir die geringere Wirkung des Eisens Nr. II. wohl zufälligen Umständen zuschreiben; lassen wir aber die mit dem Eisen Nr. II. angestellten Versuche unberücksichtigt, so führen uns alle übrigen Versuche zu dem Schluß:

Die Länge der Schenkel eines Elektromagneten hat unter übrigens gleichen Umständen keinen Einfluß auf die Tragkraft desselben.

Die längern Schenkel gewähren nur insofern einen Vortheil, als sie mehr Drahtwindungen aufnehmen können.

Beziehung der Tragkraft zu den übrigen Gesetzen des Elektro- 205
magnetismus. Nachdem die obigen Versuche einige Anhaltspunkte zur Ermittelung der Gesetze der Tragkräfte geliefert hatten, lag es nun nahe, sie mit dem durch die Gleichung auf Seite 507 gegebenen Gesetz des elektromagnetischen Momentes von Eisenstäben zu vergleichen. — Während in jener Gleichung die Factoren a und b noch von der Länge der Elektromagnete abhängen, werden in einer entsprechenden Gleichung für die Tragkräfte diese Factoren von den Längendimensionen unabhängig seyn, wie dies aus den Beobachtungen des vorigen Paragraphen hervorgeht.

Lenz und Jakobi nahmen an, daß die Tragkraft der Elektromagnete dem Quadrat des erregten Magnetismus proportional seyn müsse, und diese Annahme ist auch ohne allen Zweifel richtig, nur ist die Stärke des Mag-

netismus nicht der Stromſtärke proportional, wie dies jetzt genügend dargethan iſt. Iſt aber die Tragkraft t dem Quadrat des im Eiſen erregten Magnetismus m proportional, ſo können wir in unſre Gleichung $\sqrt{t}$ ſtatt m ſetzen, und erhalten ſo die Gleichung

$$s = a\, d^{3/2}\ tang.\ \frac{\sqrt{t}}{b\, d^2} \quad . \ . \ . \ . \ 1),$$

welche die Beziehung zwiſchen Stromſtärke und Tragkraft der Elektromagnete darſtellt. Es iſt nun zu unterſuchen, in wiefern unſere Verſuche über Tragkraft mit dieſer Formel harmoniren. Setzen wir $a = 0{,}603$, $b = 0{,}02035$, ſo wird für die dünneren Hufeiſen die Gleichung

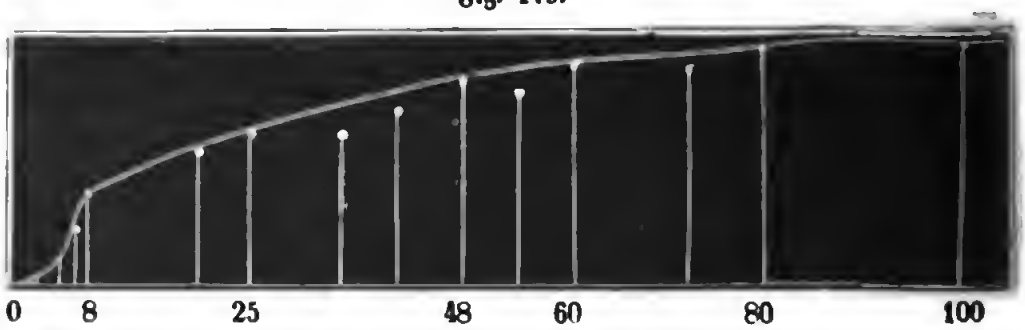
$$s = 10\ .\ tang.\ \frac{\sqrt{t}}{0{,}86} \quad . \ . \ . \ . \ 2);$$

ſetzen wir für s die magnetiſirende Kraft, d. h. die Stromſtärke multiplicirt mit der Anzahl der Windungen der Spirale, ſo ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe von s und t, denen zur Vergleichung die beobachteten Werthe von t beigeſetzt ſind.

s	t		
	berechnet.	beobachtet.	Differenz.
2	94 Gr.	—	—
5	529	—	—
8	1109	1100	9
25	3434	3300	134
48	4529	4400	129
60	4761	4700	61
100	5256	—	—
152	5506	5500	6

Nach dieſer Gleichung iſt denn auch die Kurve Fig. 179 conſtruirt; als

Fig. 179.



Abſciſſen ſind die Werthe von s, als Ordinaten die berechneten Werthe von t aufgetragen, um leichter überſehen zu können, in wiefern ſich die Gleichung der Beobachtung anſchmiegt, iſt auch eine Reihe beobachteter Werthe von t in derſelben Figur aufgetragen und durch Punkte bezeichnet worden. — Die Conſtanten unſerer Gleichung, 10 und 0,86 ſind abſichtlich ſo gewählt, daß die Curve nicht etwa mitten durch die beobachteten Punkte hindurchgeht, ſondern über die höchſten hinweggeführt wird, weil begreiflicherweiſe diejenigen Beobachtungen als die beſten anzuſehen ſind, welche relativ die größten Tragkräfte liefern. Wie man ſieht, ſchließt ſich die Curve dieſen relativ größten beobachteten Tragkräften recht gut an.

Für die dickeren Stäbe paßt die Gleichung

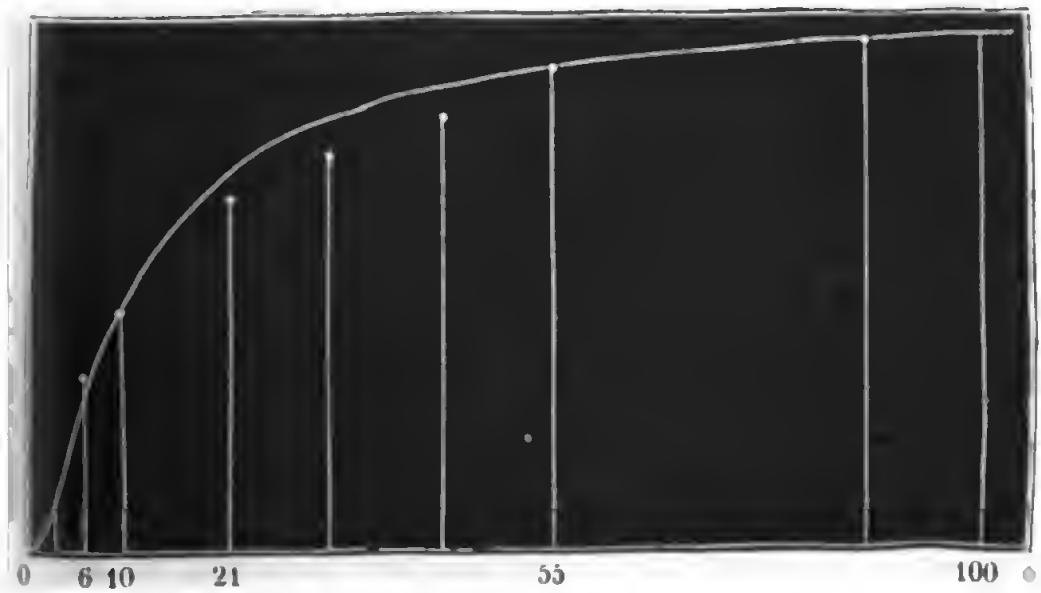
$$s = 5{,}5 \; tang. \frac{\sqrt{t}}{1{,}2} \quad . \; . \; . \; . \; 3).$$

In der folgenden Tabelle ſind einige nach dieſer Gleichung berechnete Werthe von t mit den beobachteten zuſammengeſtellt.

s	t	
	berechnet.	beobachtet.
6	3249	3600
21	8151	7500
54	10201	10000
118	10983	10700
150	11130	11100

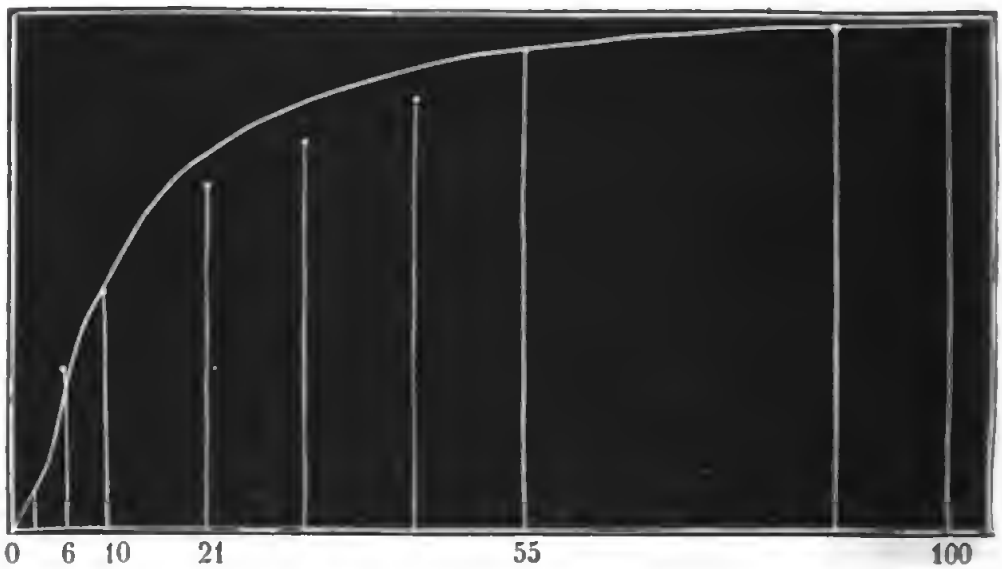
Die Curve, Fig. 180 iſt nach der Gleichung 3 in demſelben Maßſtab

Fig. 180.



conſtruirt, wie Fig. 179. Zur Vergleichung ſind auch einige beobachtete Punkte aufgetragen. Die Conſtanten der Gleichung 3 hätten ſich wohl ſo beſtimmen laſſen, daß ſich die Curve noch etwas beſſer den Beobachtungen

Fig. 181.



anſchlöſſe, da jedoch die Gleichung nur eine ganz ſpecielle Bedeutung hat, ſo mag dieſe Annäherung wohl genügen.

Es ergiebt ſich nun aus dieſen Verſuchen unzweifelhaft, daß die Tragkräfte der Elektromagnete keineswegs immer dem Quadrate der Stromſtärke proportional ſind. Dieſe Proportionalität wird ſich nun da finden, wo ein dickes Eiſen mit wenig Windungen umgeben iſt, welche von ſchwächeren Strömen durchlaufen werden. Je mehr die Dicke der Eiſen abnimmt, je mehr Windungen die Magneti*ſ*irungsſpirale hat und je ſtärker die angewandten Ströme ſind, deſto mehr wird man ſich von dieſem quadratiſchen Verhältniſſe entfernen.

Unſere Verſuche zeigen ferner, daß jedem Elektromagnet ein (wie wir ſogleich ſehen werden, mit der Natur des Ankers veränderliches) Maximum der Tragkraft zukommt. Bezeichnen wir dieſes Maximum mit t', ſo muß für die dünneren Elektromagnete $\frac{\sqrt{t'}}{0{,}86}$ und für die dickeren $\frac{\sqrt{t'}}{1{,}2}$ gleich 90 ſeyn, daraus ergiebt ſich als Maximum der Tragkraft für die dickeren der obigen Elektromagnete 11664 Gramme, für die dünneren aber 5991 Gramme.

Die Tragkraft der Elektromagnete hängt, wie wir dies ſchon oben, Seite 490 geſehen haben, weſentlich von der Geſtalt des Ankers ab. Hätten wir für die dickeren Elektromagnete einen Anker angewandt, für wel-

chen zwiſchen der Tragkraft und dem im Elektromagneten erregten Magnetismus das gleiche Verhältniß ſtattgefunden hätte, wie bei den dünnern, ſo müßte man die Tragkräfte der Elektromagnete I., II. und III. nach der Gleichung 1 berechnen können, wenn man für die Conſtanten a und b diejenigen Werthe ſetzt, wie ſie ſich aus den mit dem Elektromagneten IV, V und VI. angeſtellten Verſuchen ergeben, nämlich $a = 0{,}603$ und $b = 0{,}02035$. Die Beziehung zwiſchen Stromſtärke und Tragkraft wäre alsdann für die 10^{mm} dicken Elektromagnete

$$s = 19 \; tang. \frac{\sqrt{i}}{2{,}035} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4).$$

Wie ſehr aber die nach Gleichung 4 berechneten Tragkräfte den nach Gleichung 3 berechneten differiren, ergiebt ſich aus folgender Zuſammenſtellung:

s	i berechnet	
	nach 3	nach 4
21	8154	9127
54	10201	19881
118	10983	25921
150	11130	27225

man ſieht alſo, wie weit die an den dickeren Elektromagneten beobachteten Tragkräfte hinter denen zurückbleiben, welche man nach den mit den dünneren angeſtellten Verſuchen hätte erwarten ſollen. Man begreift dies Zurückbleiben aber ſehr gut, wenn man bedenkt, daß derſelbe Anker für die dickeren und die dünneren Elektromagnete gebraucht wurde, und daß alſo derſelbe für die dickeren Elektromagnete verhältnißmäßig klein war. —

Nach Gleichung 4 würde das Maximum der Tragkraft für die 10^{mm} dicken Elektromagnete 33489 Gramme ſeyn. Da für das Maximum der Tragkraft

$$\frac{\sqrt{i}}{b\,d^2} = 90,$$

ſo iſt alſo

$$i = 90^2 \; . \; b^2 \; . \; d^4,$$

d. h. das Maximum der Tragkraft würde alſo im Verhältniß der vierten Potenz des Durchmeſſers der Elektromagneten wachſen, wenn es möglich wäre, für alle Dicken die entſprechenden Anker zu finden.

Ein Elektromagnet unſers phyſikaliſchen Cabinets hat einen Durchmeſſer von 35^{mm}; jeder der Schenkel iſt mit 480 Windungen umgeben. Wenden wir auf dieſen Elektromagneten die Gleichung 1 mit den Conſtanten $a = 0{,}603$ und $b = 0{,}02035$ an, welche aus den Verſuchen abgeleitet ſind, die mit den 6,5^{mm} dicken Elektromagneten angeſtellt werden, ſo erhalten wir für dieſen großen Elektromagneten die Gleichung

$$s = 124 \,.\, tang. \frac{\sqrt{t}}{24},$$

wo für s die Tangente des an der Tangentenbuſſole durch den Strom hervorgebrachten Ablenkungswinkels, multiplicirt mit 960 (der Anzahl der Spiralwindungen um beide Pole), zu ſetzen iſt.

Dieſer Gleichung nach wäre das Maximum der Tragkraft für dieſen Elektromagneten 4666 Kilogramme, alſo über 9000 Pfund.

Einem Strom, für welchen $v = 2{,}6^0$ (welcher 2,6° Ablenkung an der Tangentenbuſſole hervorbringt), entſpricht nach dieſer Gleichung eine Tragkraft von 214 Kilogrammen; der Verſuch ergab nur 86 Kilogramme.

Bei einem Strom, für welchen $v = 5{,}5^0$, wurde die Tragkraft gleich 125 Kilogrammen gefunden, während ſie nach jener Gleichung 767 Kilogrammen ſeyn ſollte.

Die Tragkraft des Elektromagneten iſt keine ſo einfache Function der Stromſtärke wie das magnetiſche Moment, aus dem ſehr begreiflichen Grunde, weil die Tragkraft nicht allein von dem im Elektromagneten erregten Magnetismus, ſondern auch von der Natur des Ankers abhängt; der Einfluß des Ankers iſt aber noch keineswegs genügend ſtudirt, um demſelben bei Conſtruction der Formeln Rechnung tragen zu können.

Wenn die Elektromagnete durch Vergrößerung des Querſchnitts im Stande ſind, gleichſam eine größere Menge freien Magnetismus aufzunehmen, ſo kann ihre Tragkraft nur dann in einer dem vermehrten Magnetismus entſprechenden Weiſe zunehmen, wenn auch im Anker eine gleiche Vermehrung des freien Magnetismus ſtattfinden kann, d. h. wenn der Querſchnitt des Ankers und der Berührungsfläche in gleichem Verhältniſſe wächſt, wie der Querſchnitt des Elektromagneten.

Während nun auf der einen Seite die Vergrößerung des Querſchnitts des Ankers denſelben befähigt, eine größere Menge freien Magnetismus aufzunehmen, wird auf der andern Seite durch Vergrößerung der Berührungsfläche die Vollkommenheit der Berührung beeinträchtigt, und ſo kommt es denn, daß die Tragkraft größerer Elektromagnete weit hinter dem zurückbleibt, was man nach den Verſuchen hätte erwarten ſollen, die mit kleinen Elektromagneten angeſtellt wurden.

Man ſieht aus alle dem, daß, wenn es nur darauf ankommt, Elektro-

magnete von großer Tragkraft zu conſtruiren, man ohne Vergrößerung der Dimenſionen, ohne Vermehrung der Windungen und ohne Anwendung außergewöhnlich großer Batterien noch Vieles durch Verbeſſerung in der Conſtruction der Anker und durch Veränderung der Geſtalt des Querſchnitts der Elektromagnete erreichen kann.

Jedenfalls ſind nun zunächſt genauere und umfaſſende Unterſuchungen über den Einfluß der Anker von der größten Wichtigkeit.

Iſt die Magnetiſirung eines Eiſenſtabes als eine Arbeit des galvaniſchen Stromes zu betrachten. Bei der Vergleichung verſchiedener Wirkungen des elektriſchen Stromes iſt bisher ein Geſichtspunkt ganz außer Acht gelaſſen worden, nämlich die Beantwortung der Frage: Ob und in wiefern eine beſtimmte Wirkung des elektriſchen Stromes als eine Arbeit deſſelben zu betrachten iſt oder nicht. 206

Zunächſt iſt hier der Begriff der Arbeit feſtzuſtellen.

Eine jede mechaniſche Arbeit beruht in der Ueberwindung eines Widerſtandes, wodurch ſtets ein Theil der bewegenden Kraft in Anſpruch genommen wird. Ein durch ſeine Schwere niederfallender Körper verrichtet nur in ſofern eine Arbeit, als er einen ſeinem Falle entgegenſtehenden Widerſtand überwindet; ein frei fallender Körper verrichtet keine Arbeit.

Dem entſprechend kann man auch nur diejenigen Wirkungen des galvaniſchen Stromes als eine Arbeit deſſelben betrachten, deren Hervorbringung nothwendig die Ueberwindung eines Widerſtandes erfordert.

Da aber die Ueberwindung eines Widerſtandes ſtets einen Theil der beſchleunigenden Kraft gleichſam conſumirt, ſo wird auch jede Arbeit des galvaniſchen Stromes mit einer entſprechenden Verminderung der Stromſtärke verbunden ſeyn, gerade ſo wie auch ein niederſinkender Körper einen Theil ſeiner Fallgeſchwindigkeit einbüßt, wenn er bei ſeinem Falle einen Widerſtand überwinden muß.

Wird in eine durch einen dicken Kupferdraht geſchloſſene galvaniſche Batterie ein Voltameter eingeſchaltet, ſo nimmt die Stromſtärke augenblicklich ab. Die Waſſerzerſetzung iſt alſo eine Arbeit für den galvaniſchen Strom.

Ebenſo verhält es ſich mit dem Erwärmen und dem Glühen von Metalldrähten durch den Strom.

Halten wir an dem aufgeſtellten Begriffe feſt, ſo iſt das Magnetiſiren eines weichen Eiſens durch den Strom keine Arbeit für denſelben.

Wenn der Strom einer galvaniſchen Batterie durch eine Magnetiſirungsſpirale und eine Tangentenbuſſole geleitet iſt, welche hinreichend weit von einander aufgeſtellt ſind, ſo wird in dem Augenblicke, in welchem man

einen Eisenstab in die Spirale einschiebt, die Nadel der Tangentenbussole allerdings momentan durch einen Inductionsstrom afficirt, sie kehrt aber sogleich wieder zu ihrer früheren Stellung zurück und zeigt dieselbe Ablenkung, wenn der Eisenstab ruhig in der Spirale liegen bleibt, als ob er ganz entfernt wäre.

Der Strom wird also durch die Magnetisirung des Eisenstabes nicht im mindesten geschwächt.

Dies Resultat hätte sich wohl voraussehen lassen, denn wenn die Magnetisirung eine Arbeit des galvanischen Stromes wäre, so müßte auch umgekehrt ein Magnet, welcher ruhig in einer Spirale liegt, einen continuirlichen Strom in derselben erzeugen können, was bekanntlich nicht der Fall ist.

Die Magnetisirung eines weichen Eisens vermindert also die Stromstärke nicht; sobald aber in Folge der Anziehungen und Abstoßungen des Elektromagneten eine Bewegung hervorgebracht, also ein mechanischer Effect ausgeübt wird, tritt augenblicklich eine entsprechende Verminderung der Stromstärke ein, wie wir dies sogleich bei der näheren Betrachtung elektromagnetischer Motoren sehen werden

207 **Versuche zur praktischen Benutzung der elektromagnetischen Triebkraft.** Wenige Zweige der Physik haben sich einer so raschen Entwickelung zu erfreuen, als der Galvanismus, und wenige haben in so kurzer Zeit so viele Früchte für das praktische Leben getragen. Galvanoplastik, galvanische Vergoldung und Versilberung, das Sprengen von Felsen durch Galvanismus, und vor Allem die elektrische Telegraphie, sind technische Anwendungen der galvanischen Elektricität, welche sich erst in den zwei letzten Decennien entwickelt haben.

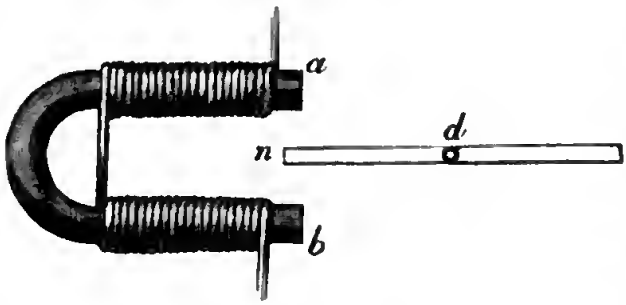
Weniger glücklich als in den eben angeführten Beispielen sind die Bemühungen gewesen, das galvanische Licht in die Praxis einzuführen, wie dies bereits auf Seite 418 angeführt wurde, und eben so wenig Erfolg hatten die Versuche, welche angestellt wurden, um den Elektromagnetismus als Triebkraft zu benutzen.

Das wichtigste, was bis zum Jahre 1838 auf diesem Felde geschehen war, hat Vorßelmann de Heer in einem Aufsatze zusammengestellt, welcher sich im 47sten Bande von Poggendorff's Annalen (S. 76) befindet. Demzufolge war Dal Negro in Padua der Erste, welcher einen Apparat verfertigte, in welchem der Elektromagnetismus als bewegende Kraft angewandt wurde; mit diesem Apparate konnte eine Last von 180 Grammen in einer Minute 1 Meter hoch gehoben werden; dies war der Nutzeffect des ersten elektromotorischen Motors, dessen Beschreibung sich in einer Abhandlung: Nuova Macchina elettro magnetica immagi-

nata dall' ab Salvatore Dal Negro, die ſich in den Annali delle scienze del Regno Lombardo Veneto, März 1834, befindet.

Wenn ich Vorßelmann's Beſchreibung recht verſtanden habe, ſo war die Einrichtung der Maſchine Dal Negro's im Weſentlichen folgende: Die beiden Pole *a* und *b*, Fig. 182, eines Uförmigen Elektromagneten ſtanden vertical übereinander und zwiſchen beiden oscillirte um eine horizontale Axe *d*, ſich drehend, der eine Pol *n* eines ſtabförmigen Stahlmagneten; *n* wird ſich nach *a* hin bewegen, wenn *a* die entgegengeſetzte Polarität von *n* hat; ſobald aber *n* bei *a* angekommen iſt, wird durch eine entſprechende Vorrichtung der Strom der Magnetiſirungsſpirale umgekehrt, jetzt wirkt alſo *a* abſtoßend, *b* anziehend auf *n*. Sobald aber in Folge davon *n* bei *b* ankommt, erfolgt eine abermalige Commutation, welche *n* wieder in die Höhe treibt u. ſ. w. Die oscillirende Bewegung des Magnetſtabes wird nun auf eine geeignete Weiſe in eine Rotationsbewegung verwandelt.

Fig. 182.



In Deutſchland conſtruirte zuerſt Jakobi einen elektromagnetiſchen Motor, bei welchem unmittelbar eine rotirende Bewegung erzeugt wird. Er machte dieſen Apparat und die damit angeſtellten Verſuche in einem Schriftchen bekannt, welches im Jahre 1835 zu Potsdam unter dem Titel: Mémoire sur l'application de l'électromagnetisme au mouvement des machines, par M. H. Jacobi, erſchien. In Poggendorff's Annalen (XXXVI, 366.) findet ſich nur eine kurze Andeutung über die Einrichtung der Maſchine und eine genauere Beſchreibung des an ihr angebrachten Commutators.

Die Conſtruction der Maſchine iſt im Weſentlichen folgende: Eine verticale Holzſcheibe, die um eine horizontale Axe drehbar iſt, trägt ſeitwärts, rechtwinkelig gegen ihre Ebene, alſo in horizontaler Lage, vier Hufeiſen von weichem Eiſen, deren Enden, wenn man die Scheibe dreht, dicht vor den Enden vier anderer Hufeiſen vorübergehen, welche gleichfalls in horizontaler Lage unverrückbar an einem Holzgeſtell befeſtigt ſind. Sämmtliche Hufeiſen ſind durch Umwickelung mit dem Schließungsdraht einer Volta'ſchen Säule zu Elektromagneten gemacht, und zwar in der Art, daß im Kreiſe herum ſowohl bei den beweglichen als bei den feſten, Nord- und Südpol immer mit einander abwechſeln. Angenommen nun, daß urſprüng-

lich die gleichnamigen Pole einander gegenüberſtehen, ſo iſt klar, daß die Scheibe, wenn man ihr einen geringen Stoß ertheilt, in der Richtung deſſelben ſo weit fortgehen wird, bis die ungleichnamigen Pole einander gegenüberſtehen, alſo bis ſie etwa $\frac{1}{8}$ des Kreisumfanges zurückgelegt hat; in dieſem Momente werden aber nun durch einen paſſenden Commutator die Pole der feſten oder der beweglichen Elektromagnete umgekehrt und dadurch, indem die Commutation nach jeder Achtelumdrehung wieder eintritt, eine continuirliche Rotation unterhalten.

Der erſte elektromagnetiſche Wagen wurde von Stratingh und Becker zu Gröningen conſtruirt und in der »Letterbode« vom December 1835 beſchrieben. Der Motor war nach dem Princip von Ritchie's rotirenbem Elektromagneten conſtruirt.

Wahrſcheinlich unbekannt mit den Leiſtungen der beiden Niederländer verfertigte Botto in Turin einen ähnlichen Wagen, deſſen Beſchreibung man in der Bibliothèque universelle (Août 1836) findet. Mit dem Motor, welcher dieſen Wagen in Bewegung ſetzte, konnte man in 4 Secunden ein Gewicht von 8 Kilogrammen 1,5 Meter hoch heben; es wären demnach 25 Botto'ſche Maſchinen nöthig, um die Wirkung einer Pferdekraft hervorzubringen.

In Amerika hat man ſich mit vielem Eifer auf die Anfertigung elektromagnetiſcher Motoren gelegt. Page, Callan, Davenport haben den Elektromagnetismus auf verſchiedene Weiſe als bewegende Kraft angewandt; der Letztere hat ſogar ein Patent auf die Einführung elektromagnetiſcher Motoren in den Vereinigten Staaten erlangt Dieſer Davenport iſt ein Hufſchmidt in einem Dorfe bei Rütland, im Staate Vermont, ein Mann voll Eifer und Ausdauer, der aber, nach dem was man von ihm in Sillimann's Zeitſchrift lieſt, mit dem wiſſenſchaftlichen Theil der Sache ſo gut wie ganz unbekannt iſt.

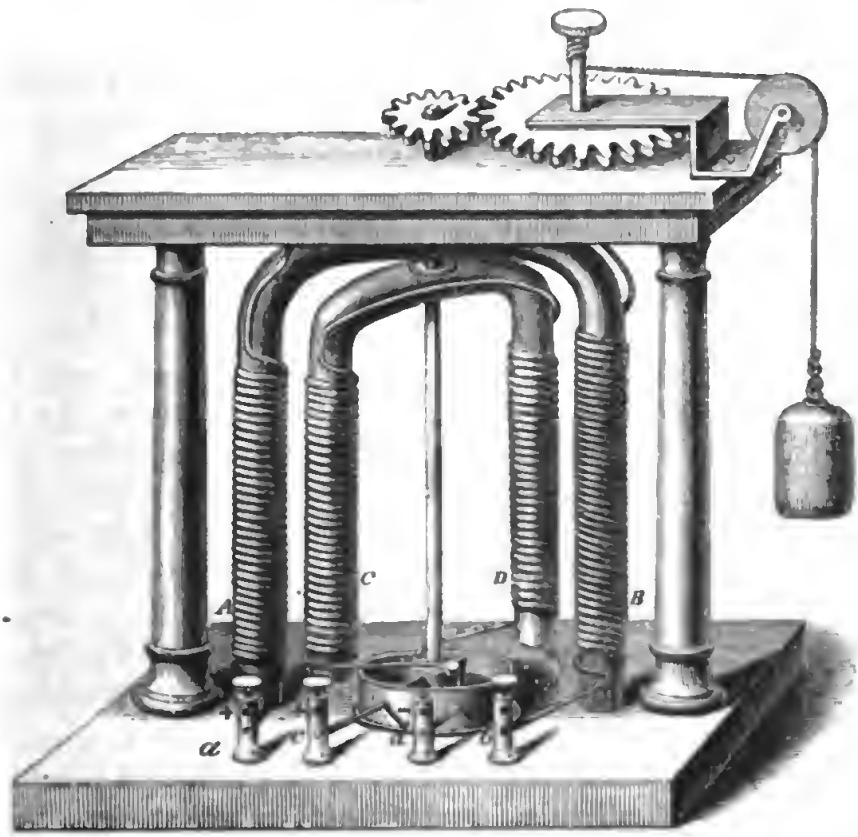
Aehnliches finden wir übrigens, wenn auch nicht ganz in dem Maße, noch bei vielen Andern, die ſich mit dieſer Aufgabe beſchäftigt haben. Voll Eifer für die Sache geben ſie ſich den ſanguiniſchſten Hoffnungen hin, wenn es ihnen gelingt, einige oft ganz ſinnreiche und zweckmäßige Anordnungen oder Verbeſſerungen an den Apparaten anzubringen, während ſie in Beziehung auf die Hauptfrage ganz und gar im Dunkeln umhertappen, weil es ihnen an den nöthigen Vorkenntniſſen fehlt, um den mechaniſchen Effect ihrer Vorrichtungen gehörig zu würdigen.

Davenport meint, mit zwei Elektromagneten könne man die größten Maſchinen mit weniger Koſten als durch Dampf treiben, und Callan ſagt, wenn ſeine Berechnung richtig ſey, ſo koſte der Elektromagnetismus zur Fortſchaffung von Wagen auf einer Eiſenbahn höchſtens $\frac{1}{4}$ ſo viel als der Dampf.

Vorßelmann ſpricht ſich nun einerſeits gegen ſolche, aller ſoliden experimentellen Begründung entbehrenden Schwindeleien, auf der andern Seite aber auch dagegen aus, daß man ohne weitere Prüfung über die praktiſche Anwendbarkeit des Elektromagnetismus als Triebkraft den Stab bricht.

Bei Ritchie's rotirendem Elektromagnet ſowohl, als auch bei Jakobi's Apparat wirken bloß die Pole der feſten Elektromagnete auf die rotirenden. Vorßelmann iſt der Meinung, daß wohl unter ſonſt gleichen Umſtänden eine größere Wirkung erreicht werden könne, wenn die Elektromagnete ihrer ganzen Länge nach auf einander wirken, wie dies ſpäter auch in dem Apparate Fig. 183 der Fall war. Nach dieſer Figur

Fig. 183.



läßt ſich auch Vorßelmann's Apparat verſtändlich machen: man denke ſich um die Rotationsaxe nicht zwei Arme *C* und *D*, ſondern ſtatt deſſen vier in rechten Winkeln von einander abſtehende, nicht weiter mit einander verbundene Elektromagnete, welche zwiſchen vier feſten der Rotationsaxe gleichfalls parallelen Elektromagneten rotiren, wie *C* und *D* zwiſchen *A* und *B*.

Bei dem Apparat Vorßelmann's ſteht aber die Rotationsaxe nicht vertical, ſondern ſie iſt horizontal, ſo daß vier horizontale Elektromagnete

zwiſchen vier feſten und gleichfalls horizontalen rotiren, was natürlich eine andere Einrichtung des Commutators vorausſetzt, welcher übrigens gleichfalls ein Queckſilber-Commutator iſt.

Vorßelmann deutet nun den Weg an, welchen man gehen müſſe, um die Frage über die praktiſche Anwendbarkeit des Elektromagnetismus als bewegende Kraft zur Entſcheidung zu bringen; er entwickelt, daß die Löſung abhängt von der Beantwortung folgender drei Einzelfragen:

1. Wie hängt die bewegende Kraft der elektromagnetiſchen Motoren von der erregten Magnetkraft ab?
2. Wie wird die Magnetkraft durch die entwickelte Elektricitätsmenge beſtimmt?
3. Wie hängt die entwickelte Elektricitätsmenge mit der verbrauchten Zinkmenge zuſammen?

Die beiden letzten Fragen können wir gegenwärtig wohl als genügend beantwortet betrachten, die ganze Schwierigkeit des Gegenſtandes liegt alſo in der erſten Frage concentrirt.

Zu Ende der Dreißiger und zu Anfang der Vierziger Jahre wurde nun die elektromagnetiſche Triebkraft ſehr lebhaft ventilirt; ganz beſonders waren in dieſer Sache Jakobi, der unterdeſſen nach Dorpat und von da nach Petersburg überſiedelte, und Wagner in Frankfurt thätig.

Bereits im Jahre 1838 hatte es Jakobi dahin gebracht, durch eine elektromagnetiſche Maſchine ein Boot auf der Newa zu treiben. Es war 26 Fuß lang und $8\frac{1}{2}$ Fuß breit. Es wurde mit Schaufelrädern nach Art der Dampfſchiffe ausgerüſtet und der elektromagnetiſche Motor nebſt dem galvaniſchen Apparate darauf gebracht. Die Maſchine nahm nur den geringen Raum von $1\frac{1}{4}$ Fuß Breite und $2\frac{1}{12}$ Fuß Länge ein; die Batterien, aus 320 conſtanten Zinkkupfer-Elementen (jede Platte von 36 Quadratzoll) beſtehend, waren längs den Seitenwänden des Schiffes angebracht, ſo daß ſich außerdem noch 12 Perſonen mit Bequemlichkeit auf demſelben befanden.

Mit dieſem Boote gelang es nun, die Newa zu befahren und ſelbſt gegen den Strom aufzukommen, wo dieſer nicht zu reißend war. In 2 bis 3 Stunden wurde eine Tour von 7 Werſt (1 Werſt = 3285 par. Fuß) auf der Newa und in den Kanälen zurückgelegt. (Dingler's polyt. Journal, 71. Band, Seite 411.)

Im folgenden Jahre wurde ein Boot von 28 Fuß Länge, $7\frac{1}{2}$ Fuß Breite und $2\frac{3}{4}$ Fuß Tiefe im Waſſer, welches 14 Perſonen trug, mit einer Geſchwindigkeit von $2\frac{1}{4}$ engl. Meilen (1 engl. Meile = 4957 par. Fuß) in der Stunde auf der Newa fortgetrieben. Die elektromagnetiſche Maſchine war die frühere, ſie wurde aber durch eine Batterie von 64

conſtanten Zinkplatinelementen getrieben. Die Kraft, mit welcher die Maſchine arbeitete, betrug ¾ bis 1 Pferdekraft. (P. A. LI. 358.)

Mit ganz beſonderem Intereſſe verfolgte man in Deutſchland die Arbeiten Wagner's in Frankfurt, obgleich er dieſelben ziemlich geheim hielt und nur einzelne Andeutungen über ſeine Fortſchritte im Publikum bekannt wurden. Der Fürſt von Fürſtenberg, als Förderer wiſſenſchaftlicher und induſtrieller Unternehmungen rühmlichſt bekannt, ſtellte ihm behufs der Anfertigung ſeiner Apparate und der Anſtellung ſeiner Verſuche die fürſtlichen Werkſtätten zu Riesdorf bei Stockach zur Dispoſition, wo Wagner ſich mehrere Monate aufhielt und ſich vorzugsweiſe mit der Anfertigung elektromagnetiſcher Wagen beſchäftigte.

Welche Erwartungen man damals von Wagner's Erfindungen hegte, erſieht man beſten aus einem Vortrage, welchen v. Reden bei der 18ten Verſammlung deutſcher Naturforſcher in Erlangen gehalten hat, und welcher im »Allgemeinen Organ für Handel und Gewerbe, Nr. 123, S. 539« abgedruckt wurde, von wo er auch in Dingler's polytechniſches Journal, (78ſter Band, Seite 332) überging. Es folgen hier die wichtigſten Stellen aus dieſem Vortrage, weil ſie ſehr gut den Standpunkt Wagner's charakteriſiren, welcher, wie man ſehen wird, das Gebäude ſeiner Hoffnungen doch auf einer ziemlich unſicheren Grundlage aufgeführt hat. Es mögte in der That ſchwer halten, für manche der darin ausgeſprochenen Behauptungen einen Beweis zu finden.

»Zu denjenigen unſerer Landsleute, welche viel Zeit und Studium auf »den Elektromagnetismus verwendeten, gehört auch Herr Wagner in »Frankfurt a. M., welchem durch raſtloſen Eifer bei viel natürlichen Anlagen es gelang, binnen fünf Jahren ſich mit dieſer Kraft und allem, »was damit zuſammenhängt, ſo genau bekannt zu machen, daß die von »ihm erlangten Reſultate ſehr befriedigend genannt werden dürfen. Bereits im Mai 1836, bei Gelegenheit des Jahresfeſtes der Senkenbergiſchen naturforſchenden Geſellſchaft wurde ein kleines von ihm »verfertigtes Modell einer elektromagnetiſchen Kraftmaſchine vorgezeigt. — »— — — — — — Herr Wagner hat nunmehr die erſte Schwierigkeit »überwunden, nämlich die raſche Wirkungsabnahme der damals bekannten »Elektromotoren zu beſeitigen, indem es ihm gelang, Elektromotoren herzuſtellen, deren Wirkung für eine beliebige, dem Erforderniſſe entſprechende Zeit gleich blieb. Von da erſt begann Herr Wagner an die »Möglichkeit der Anwendung des Elektromagnetismus als bewegende Kraft »zu glauben, und beſchäftigte ſich nun mit Anfertigung kleiner elektromagnetiſcher Rotations-Apparate nach verſchiedenen Principien. — — »— — Der Zufall hat Herrn Wagner auf ein Meßinſtrument geleitet, mit deſſen Hülfe es ihm möglich geworden iſt, die Geſetze beider

»Kräfte (der Stromſtärke und des von ihr erregten Magnetismus, M) direct »zu ſtudiren und dann die mechaniſchen Combinationen dieſem entſpre»chend anzuordnen.

»Die unter Berückſichtigung dieſer Geſetze von Herrn Wagner er»ſonnene mechaniſche Conſtruction gewährt den Vortheil, daß die Kraft »elektromagnetiſcher Maſchinen nicht arithmetiſch, ſondern quadratiſch »wächſt, d. h. eine in den betreffenden Theilen zehnmal größere Maſchine »giebt nicht eine zehnmal, ſondern eine hundertfach größere Kraft, ohne »daß dazu eine größere Elektricitätsmenge nöthig wäre; der Zinkverbrauch »bleibt vielmehr derſelbe. Wird ferner der Elektromotor vergrößert, was »allerdings zur Entwickelung bedeutender Kraft erforderlich iſt, ſo ſteht die »dadurch mehr erlangte Kraft in directem Verhältniſſe zum Zinkverbrauch. »Daß dieſe Erſcheinungen nicht bei jedem mechaniſchen Syſteme zur An»wendung des Elektromagnetismus ſich darlegen werden, bedarf kaum »der Erwähnung.

»Allein ſo weit vorgerückt, waren noch mehrere der Anwendung im »Großen entgegenſtehende Hinderniſſe zu beſeitigen. Dazu gehörte zu»nächſt der von Faraday entdeckte magnet-elektriſche Funke, welcher, bei »jedesmaliger Trennung der galvaniſchen Kette entſtehend, nicht zu ver»meiden iſt. — — — Bei Anwendung mächtiger Elektromotoren, wie »das praktiſche Leben ſie verlangt, würde aus dieſen Funken ein ſo heftiges Feuer entſtehen, daß ſelbſt Platin der Verbrennung nicht widerſtehen »dürfte. Nach vielen vergeblichen Bemühungen und angeſtrengten Ver»ſuchen hat in neueſter Zeit Herr Wagner auch dieſes Hinderniß be»ſiegt und ein für jede Vergrößerung ausreichendes Schutzmittel gefun»den. — — —

— — — — — — — — — — — — —

»Die von mir in Augenſchein genommenen Apparate — — — ſind »folgende:

»1) Eine für beliebige, dem Bedürfniß entſprechende Zeit conſtante »Batterie mit nicht größerer Zinkconſumtion als zu disponibler Elektrici»tät erforderlich iſt. — — — Das bei Benutzung der Batterie entſte»hende Product (ſchwefelſaures Zinkoxyd) wird in ſo concentrirtem Zuſtande »gewonnen, daß bei Abkühlung Kryſtalle anſchießen. Die Induſtrie wird »demnächſt ſchon einen Verbrauch dafür finden, wie denn vielleicht das »ſo billige unreine kohlenſaure Ammoniak zur Erzeugung von kohlenſau»rem Zink wird benutzt werden können.

»2) Ein kleiner Wagen, welcher bei 36 bis 40 Pfund eigenem Ge»wicht, einen andern Wagen, mit 60 Pfund belaſtet, auf einer runden »Holzplatte von 7 Fuß Durchmeſſer im Kreiſe umherführt, und zwar mit »unveränderter Schnelligkeit 2½ bis 3 Stunden hindurch. — — Dieſe

»Locomotive mag ungefähr eine Geschwindigkeit einer deutschen Meile »in der Stunde haben (daß ist höchstens eine mechanische Arbeit von 6 »Fußpfund pr. Secunde, also gleich der von $^1/_{84}$ Pferdekraft. M).

» 3) Eine größere Maschine, bei welcher das rotirende System auch »nur 9 Zoll Durchmesser hat. — — Die Leistung dieser Maschine ist im »Verhältniß ihrer Größe sehr befriedigend; sie hat etwa eine Menschen»kraft und wird zur Bewegung einer Metalldrehbank benutzt.

» 4) Ein kleines Modell mit Zählerapparat. — — —

— — — — — — — — — — — — —

» 5) Ein Meßapparat für directe Ermittelung der elektromagnetischen »Kraft. — — — Dieser Apparat weist auch den Laien die Art der Ver»mehrung der Kraft lediglich durch Vergrößerung eines Theils der Maschine »auf das überzeugendste nach.

— — — — — — — — — — — — —

»Fragen wir nun, welche Vorzüge würde die Anwendung des Elektro»magnetismus als bewegende Kraft vor der augenblicklich wichtigsten die»ser Kräfte, dem Wasserdampfe gewähren, und welche Vortheile sind schon »durch die bisherigen Entdeckungen im Gebiete des Elektromagnetismus »für die Praxis gewonnen?

» 1) Der Elektromagnetismus hat den Vorzug gänzlicher Gefahrlosig»keit, indem der Elektromotor, z. B. des Herrn W., namentlich kein Zink»wasserstoffgas entwickelt.

» 2) Da überall keine Gase erzeugt werden, so ist er der Gesundheit »durchaus unnachtheilig.

» 3) Die Anschaffung des Apparates, der Maschine und auch deren »Betrieb ist ungleich weniger kostbar als bei der Dampfkraft, vor welcher »der Elektromagnetismus

» 4) auch noch den Vorzug hat, daß im Zustande der Ruhe die Ma»schine gar nichts consumirt, und daß

» 5) die Zinkconsumtion um so geringer ist, je größer die Geschwindig»keit wird.

» 6) Die Maschine erleidet außer in den Zapfenlagern fast gar keine Ab»nutzung und nimmt verhältnißmäßig wenig Raum ein.

» 7) Die Flüssigkeit, worin die Kupferplatte sich befindet, bedarf keiner »Erneuerung, nur die Flüssigkeit, worin die Zinkplatte sich befindet, er»fordert allmäligen Ersatz, um das schwefelsaure Zinkoxyd daraus krystalli»siren zu lassen.

» 8) Die Maschine bedarf fast keiner Beaufsichtigung.

» 9) Im Princip des Elektromagnetismus ist jeder Grad von Geschwin»digkeit zulässig.

»10) Der Elektromagnetismus gewährt die Thunlichkeit einer elaſti»ſchen und gleichmäßigen Bewegung, ſowie

»11) die Möglichkeit des raſcheſten Anhaltes ohne Stoß (wie verträgt »ſich das mit dem Geſetz der Trägheit? M.) Endlich iſt

»12) einer der wichtigſten Vorzüge des Elektromagnetismus als bewe»gende Kraft, ſeine bereits praktiſch nachgewieſene Anwendbarkeit zu den »kleinſten Krafterforderniſſen, und auf der andern Seite die ſchon jetzt »als ſehr wahrſcheinlich ſich herausſtellende Möglichkeit, demſelben die »größten Kraftäußerungen abzugewinnen. — — —

— — — — — — — — — — — — —

»Wie weit der Elektromagnetismus zum Nachtheile des Waſſerdampfes »ſein Reich ausdehnen wird, darüber können bis jetzt nur Vermuthungen »geäußert werden; daß es noch ferner geſchehen werde, unterliegt kei»nem Zweifel, und der Amerikaner Silliman hat ſchon vor Jahren »ſehr mit Recht den Elektromagnetismus a new power of great but »unknown energy genannt«

Wagner ſelbſt ſprach ſich in einem Vortrage, den er vor einer Verſammlung von Gewerbtreibenden zu Frankfurt a. M. gehalten hat, (Frankfurter Gewerbfreund, 1841 Nr. 23, Dingler's polyt. Journal, 80. Bd. S. 372.) faſt ganz in derſelben Weiſe aus. Unter den Vorzügen der neuen Kraft führt er auch den an, daß bei Anwendung derſelben für Locomotiven dieſelben leichter gebaut werden können. — Dabei hat er ſchwerlich daran gedacht, daß bei den verſchiedenen Functionen, welche eine Locomotive zu verrichten hat, ihr Gewicht keine geringere Rolle ſpielt, als die Kraft ihrer Maſchine. Nähere Details über ſeine Erfindungen hat Wagner nirgends publicirt, was in mancher Beziehung ſehr zu bedauern iſt, denn wenn ſich auch bis jetzt noch keiner der gehofften Vortheile für die Induſtrie realiſirte, ſo wären ſeiner Zeit doch manche Einzelheiten für die Wiſſenſchaft von großem Intereſſe geweſen; Wagner ſelbſt würde ohne dieſe Abſchließung, durch den Verkehr mit ſachkundigen Männern, namentlich mit Mechanikern gewiß einen klaren Blick über die Lage ſeiner Angelegenheit gewonnen haben, er würde ſicher zu irgend einer Entſcheidung gekommen ſeyn.

Die einzige beſtimmte Nachricht von einer elektromagnetiſchen Locomotive, welche auf einer Eiſenbahn gelaufen iſt, fand ich, aus engliſchen Journalen entnommen, im 86. Bande von Dingler's polytechniſchem Journal, Seite 407. Sie iſt von Davidſon conſtruirt und lief auf der Edinburg-Glasgower Eiſenbahn.

Der Wagen von 16 Fuß Länge und 7 Fuß Breite, wird von 8 kräftigen Elektromagneten getrieben, und lief mit einer Geſchwindigkeit von 4 engliſchen Meilen in der Stunde.

Das ist nun freilich keine große Geschwindigkeit, und man muß anerkennen, daß dies Resultat ein sehr ungenügendes ist, wenn man bedenkt, daß diese Locomotive ganz allein lief und nicht einmal andere Wagen hinter sich herzuziehen hatte.

Kosten der elektromagnetischen Triebkraft. Die Möglichkeit, selbst größere Maschinen durch Elektromagnetismus zu treiben, ist durch viele Versuche, namentlich durch die Jakobi's außer Zweifel gesetzt worden, dadurch ist aber für die praktische Anwendbarkeit dieser neuen Kraft in der Industrie noch nichts entschieden, denn von dieser könnte erst dann die Rede seyn, wenn erwiesen wäre, daß der Elektromagnetismus, unter gewissen Umständen wenigstens, wohlfeiler wäre als andere bewegende Kräfte. 208

Nur die Möglichkeit des Maschinenbetriebes durch Elektromagnetismus wollte Jakobi bei seinen Versuchen auf dem Boote darthun, der Kostenpunkt war bei denselben, wie er selbst sagt, ganz unberücksichtigt geblieben und alle vorhandenen Data sind nach dieser Seite hin viel zu unvollständig, um einen auch nur einigermaßen sichern Schluß zu erlauben.

Wagner hat über die Kosten seines Maschinenbetriebes gar keine Anhaltspunkte mitgetheilt, denn wenn er behauptet, der Elektromagnetismus sey billiger als Dampfkraft, so liegt dieser Behauptung wohl die Voraussetzung zu Grunde, daß der producirte Zinkvitriol die Kosten fast ganz decke, was übrigens mehr als zweifelhaft ist.

So fehlt es uns denn nach dieser Seite hin sehr an genügendem Material.

Auf Versuche Botto's sich stützend (es müssen spätere gewesen seyn, als die oben Seite 540 angeführten, denn sie wurden mit einer constanten Zinkplatinkette angestellt) berechnet Grove (aus dem Civil Engeneer and Architects Journal, März 1844, S. 94 in Dingler's polyt. Journal, 92. Bd. S. 136.) die Kosten der elektromagnetischen Triebkraft in folgender Weise. Um die Wirkung einer Pferdekraft für die Dauer von 24 Stunden hervorzubringen, ist die Consumtion von 45 Pfund Zink in einer constanten Zinkplatinbatterie erforderlich. Rechnet man den Preis des metallischen Zinks zu 3 Pence so käme diese Kraft auf 11 Schilling 3 Pence zu stehen; dazu kommt aber noch der Verbrauch von 50½ Pfund Salpetersäure, welche zu 6 Pence pr. Pfd. 1 Pfd. Sterl. 5 Schill. 3 Pence kostet. Die ganze Auslage folglich, um den Effect einer einzigen Pferdekraft durch einen elektrischen Kraftapparat 24 Stunden lang zu erhalten, würde 1 Pfd. Sterl. 16 Schill. 6 Pence betragen.

Bei dieser Berechnung ist vorausgesetzt, daß die Kosten für die erfor-

derliche Schwefelſäure durch den Werth der erzeugten Zinkſalze vollſtändig gedeckt werden.

Dieſelbe Kraft kommt durch eine Dampfmaſchine nur auf wenige Schillinge zu ſtehen. Zwiſchen dieſen Reſultaten und Callin's Erwartungen iſt freilich ein großer Abſtand.

Die Koſtſpieligkeit der elektromagnetiſchen Triebkraft, ſagt Grove, entſpringt daraus, daß die Materialien für ihre Erzeugung, Zink, Salpeterſäure und Schwefelſäure theure Fabrikate ſind, Steinkohlen und Waſſer aber, die Elemente der Dampfkraft, nur Naturproducte.

Auf den erſten Blick könnte man meinen, daß die Anwendung von Batterien, in welchen die theure Salpeterſäure nicht angewendet wird, pecuniär vortheilhafter ſey. Das iſt jedoch keineswegs der Fall. Bei allen andern Batterien iſt die elektromotoriſche Kraft der Elemente geringer; man muß alſo, um gleiche Stromſtärke zu erhalten, eine weit größere Anzahl Plattenpaare anwenden, man hat alſo den gleichen Zinkverbrauch in einer größeren Anzahl von Zellen; was auf der einen Seite an Salpeterſäure geſpart wird, geht an Zink wieder verloren.

Ich habe mich nach weiteren Verſuchen umgeſehen, aus welchen man etwa die Koſten des elektromagnetiſchen Maſchinenbetriebes wenigſtens annähernd berechnen könnte, habe aber nichts gefunden als einige Verſuche von Scoresby und Joule im Philosophical Magazine (vol. XXVIII. Seite 448.).

Von den Verſuchen der beiden Engländer wird weiter unten noch mehr die Rede ſeyn, hier will ich nur einen Verſuch anführen: bei einer Zinkconſumtion von 205 Gran pr. Stunde wurde mittelſt einer elektromagnetiſchen Maſchine ein mechaniſcher Effect von 21100 Fußpfund in der Stunde, das iſt 5,8 Fußpfund in der Secunde, alſo ungefähr $^1/_{88}$ Pferdekraft, hervorgebracht, demnach würde eine ganze Pferdekraft in 24 Stunden allein 56 Pfund Zink verzehren, alſo noch etwas theurer zu ſtehen kommen als nach obiger Berechnung Grove's.

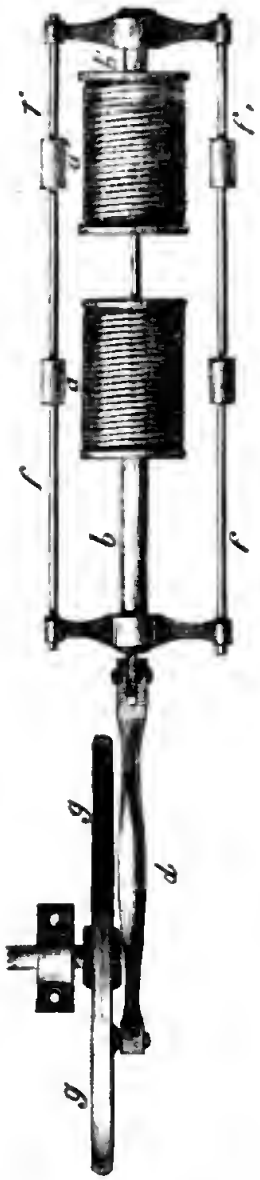
Stöhrer hat einige Verſuche bekannt gemacht (P. A. LXIX. 87.) die er mit ſeiner elektromagnetiſchen Kraftmaſchine angeſtellt hat, allein er giebt nur in Fußpfunden den mechaniſchen Effect an, welcher erhalten wurde, wenn der Strom von 1, 2, 3, 4 und 5 ſeiner Zinkkohlenbecher durch den Apparat geleitet wurde, ohne den Zinkverbrauch anzugeben oder Data mitzutheilen, aus denen man ihn etwa hätte berechnen können; zur Berechnung des Koſtenpunktes ſind alſo ſeine Angaben nicht zu gebrauchen.

209 **Conſtruction der elektromagnetiſchen Kraftmaſchine.** Man hat elektromagnetiſche Motoren in ſehr verſchiedenen Formen conſtruirt, doch laſſen ſich der Hauptſache nach zwei Claſſen unterſcheiden. In die erſte

Classe gehören alle diejenigen Apparate, bei denen ursprünglich eine oscillatorische Bewegung hervorgebracht wird, die erst in eine continuirlich drehende verwandelt werden muß; die zweite Classe bilden alle diejenigen Apparate, in denen durch die elektromagnetischen Kräfte unmittelbar eine Rotationsbewegung hervorgebracht wird.

Betrachten wir zunächst die Maschinen der ersten Classe, welche die weniger verbreiteten sind.

Fig. 184.



Dal Negro's Apparat, welcher hierher gehört, wurde bereits auf Seite 539 besprochen. Page, Professor der Chemie am Columbia-Collegium zu Washington, construirte einen hierher gehörigen Apparat, der in Silliman's Journal beschrieben ist (Dingler's polyt. Journal, 102 Bd. S. 112.), das Wesentliche desselben wird durch Fig. 184 verständlich werden.

Auf einem Brett sind in horizontaler Lage zwei Magnetisirungsspiralen a und a' in horizontaler Lage so befestigt, daß ihre Axen genau in dieselbe gerade Linie fallen. Die beiden Eisenstäbe b und b', durch ein Messingstäbchen mit einander verbunden, sind an dem beweglichen Rahmen $f\,f'$ befestigt, welcher ihnen zur Führung dient. Geht ein Strom durch a', so wird b' nach der Linken gezogen; so bald der Stab b' ganz in a' hineingeschoben ist, wird der Strom in a' unterbrochen, während er durch a zu laufen beginnt. b wird jetzt in die Spirale a hineingezogen, während a' nicht mehr auf b' wirkt; ist die Bewegung nach der rechten Seite hin vollendet, so tritt abermals ein Stromwechsel ein, und so wird eine hin- und hergehende Bewegung erzeugt, welche durch die Treibstange d dem Schwungrad g eine rotirende Bewegung mittheilt.

Die Vorrichtung zum Stromwechsel ist an der Schwungradswelle angebracht. Diese so wie die Drahtleitungen sind in der Zeichnung weggelassen, da es nur darauf ankam, eine Idee von dem Apparate zu geben.

Werden die Eiſenſtäbe *b* und *b'* durch Magnetſtäbe erſetzt und der Apparat durch die Hand mittelſt einer Kurbel umgedreht, ſo werden in *a* und *a'* Inductionsſtröme erzeugt, der Apparat kann alſo in dieſem Falle als magnetoelektriſche Maſchine benutzt werden.

In dem London Journal of arts, November 1839 (Dingler's polyt. Journal, 75 Bd. S. 88.) beſchreibt Callet eine elektromagnetiſche Kraftmaſchine, welcher er die Form einer Dampfmaſchine zu geben ſuchte. Von den beiden Enden eines Balanciers, welcher dem Balancier einer gewöhnlichen Niederdruckmaſchine ganz gleich geformt iſt, hängen Pleuelſtangen herab, welche unten genau abgedrehte Cylinder von Eiſen tragen, von denen abwechſelnd der auf der rechten Seite und dann wieder der auf der linken Seite in einen hohlen Elektromagneten niedergezogen wird. Der Strom geht alſo einmal durch den Draht des einen eiſernen hohlen Cylinders, wodurch der eine Eiſenſtab niedergezogen wird. Iſt dieſer in ſeiner tiefſten Stellung angekommen, ſo wird der Strom hier unterbrochen, er umläuft nun den anderen Hohlcylinder, ſo daß jetzt der andere Arm des Balanciers niedergezogen wird u. ſ. w., die alternirende Bewegung des Balanciers wird mittelſt einer in der Mitte des einen Balancierarmes befeſtigten Treibſtange und einer Kurbel in eine rotirende Bewegung verwandelt.

Hjorth hat das alternirende Auf- und Niedergehen von Elektromagneten, welche in die Höhlung anderer hineingezogen werden, wenn dieſe durch den Strom magnetiſirt ſind, benutzt, um einen Apparat zu conſtruiren, der ganz die Form einer oſcillirenden Dampfmaſchine hat (Dingler's polyt. Journal, Bd. 113, S. 425.); der Commutator wird durch eine excentriſche Scheibe geführt, wie der Schieber einer Dampfmaſchine.

Eine nähere Beſchreibung dieſer beiden letzteren, die Dampfmaſchine nachahmenden Formen, dürfte hier um ſo eher wegbleiben, als in den citirten Aufſätzen über die Wirkſamkeit dieſer Maſchinen gar nichts geſagt iſt, ja es iſt aus denſelben nicht einmal zu entnehmen, ob ſolche Apparate wirklich ausgeführt ſind, oder ob ein bloßes Project mitgetheilt wird.

Bei der zweiten Claſſe, den unmittelbar rotirenden elektromagnetiſchen Motoren, können wir uns noch kürzer faſſen, weil ſie weiter verbreitet und der Hauptſache nach als bekannt vorausgeſetzt werden können. Bei ihnen wirken entweder nur die Pole auf einander, wie dies bei Ritchie's rotirendem Elektromagnet und bei Jakobi's Apparat der Fall iſt, oder es wirken die elektromagnetiſchen Stäbe ihrer ganzen Länge nach auf einander, wie bei dem Apparate Fig. 183 und bei dem von Vorßelman vorgeſchlagenen.

Man hat ſolcher rotirenden elektromagnetiſchen Kraftmaſchinen in gar mannichfachen Modificationen conſtruirt, die oft ganz ſinnreich und zweckmäßig ſind, die nähere Beſprechung derſelben gehört aber nicht hier her.

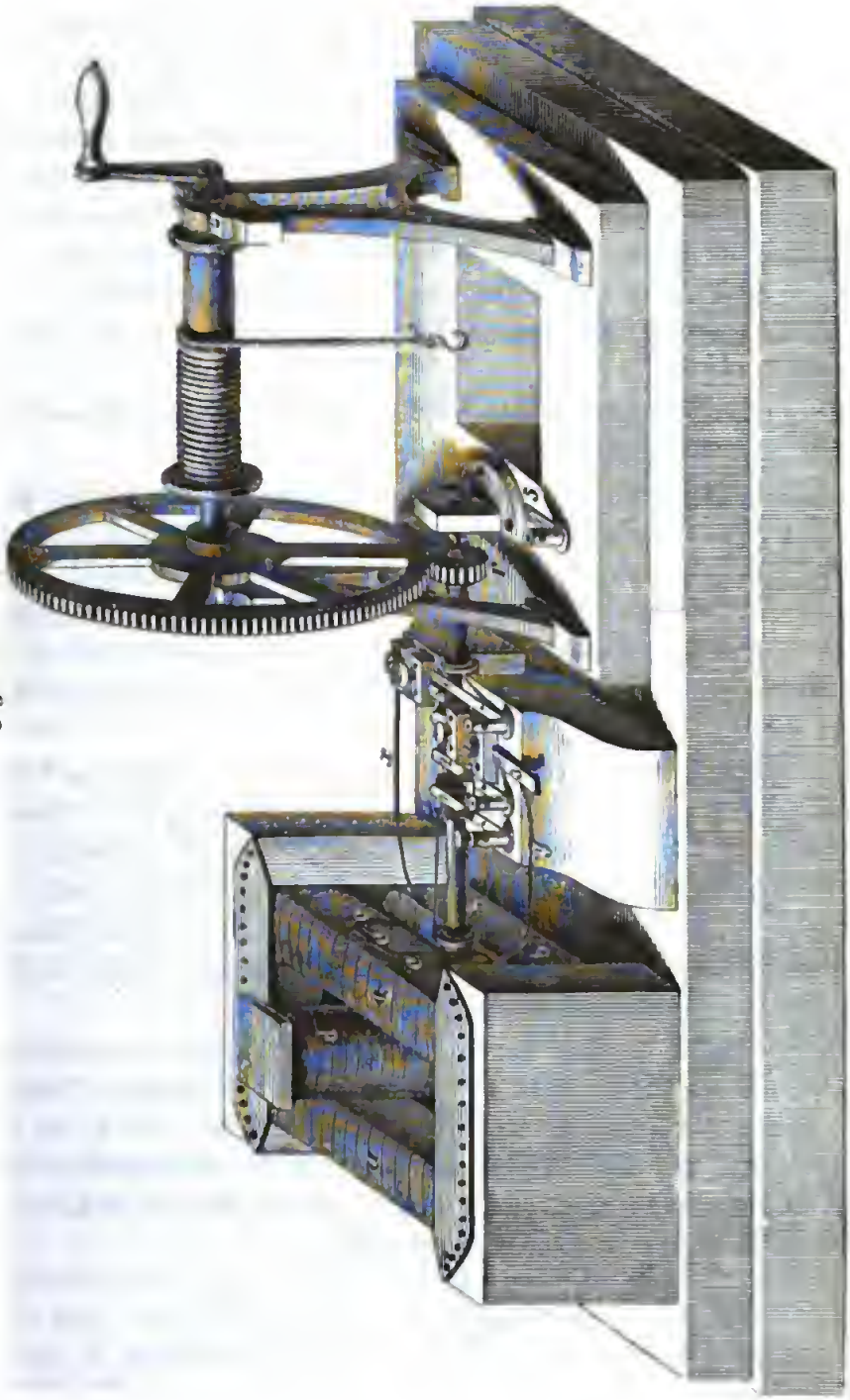


Fig. 185.

Alle dieſe Maſchinen verlieren einen Theil ihrer Wirkſamkeit dadurch, daß bei raſcher Rotation die Polarität in den Eiſenſtäben nicht ſo ſchnell umgekehrt werden kann, wie die Stromrichtung in den Magnetiſirungsſpiralen. Eine Folge davon iſt, daß die Eiſenſtäbe nie den vollen Magnetismus erlangen, welcher der Stromſtärke entſpricht. Dieſen Uebelſtand hat Stöhrer in dem Apparat Fig. 185 vermieden. Der rotirende Elektromagnet *d* rotirt ohne Polwechſel in Folge der nach jeder halben Umdrehung ſtattfindenden Umkehrung des Stroms in den durch horizontale Drahtwindungen gebildeten Rahmen *a a* und *b b*, der Elektromagnet hat hier gegen die Windungen des Rahmens eine ähnliche Stellung wie die Magnetnadel gegen die Windungen des Multiplicatordrahtes. — Eine nähere Beſchreibung des Apparates findet man in der 3. Auflage meiner Phyſik 2. Bd. S. 214.

Vergleichende Verſuche über die Wirkung verſchiedener Formen elektromagnetiſcher Motoren fehlten bis jetzt ganz und gar.

210 **Theorie der elektromagnetiſchen Motoren.** In dieſem Felde iſt bis jetzt noch ſehr wenig gethan worden. Die Unterſuchungen, welche Lenz und Jakobi über die Geſetze des Elektromagnetismus anſtellten, ſollten Vorarbeiten zur Entwickelung einer Theorie elektromagnetiſcher Motoren ſeyn. Jene Geſetze aber, auf ſtatiſche Verhältniſſe ſich beziehend, konnten natürlich bei dem Bewegungszuſtand nur eine bedingte Anwendung finden.

In einem Vortrag, welchen Jakobi in der Verſammlung brittiſcher Naturforſcher zu Glasgow im Jahr 1840 gehalten hat (Athenaeum Nr. 678, P. A. LI. 358), theilt er folgende Skizze einer Theorie elektromagnetiſcher Motoren mit. Bezeichnet R die ſämmtlichen mechaniſchen Widerſtände, welche auf die Maſchine einwirken, und v die gleichförmige Geſchwindigkeit, mit welcher ſie ſich bewegt, ſo haben wir für die Kraft oder den mechaniſchen Effect den Ausdruck $T = Rv$.

Es ſey nun n die Zahl der Windungen der Magnetiſirungsſpirale, z die Anzahl der Plattenpaare der Batterie, B der geſammte Widerſtand der galvaniſchen Kette, E die elektromotoriſche Kraft und K ein Coefficient, welcher von dem Abſtand der Pole und der Beſchaffenheit des Eiſens abhängt, ſo hat man, ſagt Jakobi, für das Maximum des mechaniſchen Effects [1]), welches erreicht wird,

$$T = \frac{z^2 E^2}{4BK} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

[1]) Das heißt wenn die disponibeln galvaniſchen Becher ſo geordnet ſind, daß man ein Maximum von Stromſtärke erhält, daß alſo der Widerſtand der Kette gleich dem des Schließungsbogens iſt.

für die Geschwindigkeit, welche diesem Maximum entspricht,

$$v = \frac{B}{K n^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

für den Widerstand, der auf die Maschine einwirkt,

$$R = \frac{n^2 z^2 E^2}{4 B^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3).$$

und endlich für den ökonomischen Effect, d. h. für den Nutzeffect, dividirt durch den Zeitverbrauch

$$O = \frac{E}{2K}.$$

Wie diese Formeln entwickelt worden sind, ist nicht angegeben; ebenso wenig theilt Jakobi mit, ob und in wie weit sie mit den Erfahrungsresultaten übereinstimmen.

In einem Vortrage, den Jakobi in der Petersburger Akademie gehalten hat (Dingler's polyt. Journal, 85. Bd. S. 439), sagt er selbst von diesen Formeln: »Ich habe diese Gesetze in ihren Details noch nicht einer »strengen experimentellen Prüfung unterwerfen können, aber Alles ist vor»bereitet, um die erste Muße, die mir vergönnt ist, zu dieser umfassenden »Arbeit zu benutzen. Die Bestätigung dieser Gesetze hat sich mir bis jetzt »nur im Allgemeinen und Großen ergeben, indem ich durch sie im Stande »war, eine Masse von Erscheinungen zu erklären die sich mir dargeboten »und wozu bisher der Schlüssel gefehlt hatte. Jetzt aber wird es noth»wendig, die Constanten zu bestimmen, und namentlich die mechanische »Arbeit zu ermitteln, welche die elektrolytische Auflösung einer gegebenen »Quantität Zink zu produciren vermag. Indessen mache ich Sie noch »auf ein merkwürdiges Factum aufmerksam, das auch diese Bestimmung »nicht als absolute erscheinen läßt, — ein Factum, das namentlich unsere »Herrn Collegen von der Chemie in Verwunderung setzen wird, indem es »sich dahin ausspricht, daß dasselbe Atom Zink eine verschiedene mechani»sche Arbeit zu produciren vermag, je nachdem es in einer Zinkkupfer»oder in einer Zinkplatinbatterie aufgelöst wird. In letzterem Falle ist »z. B. diese Arbeit beinahe 1¾mal größer als im ersteren.«

Später hat Jakobi meines Wissens Nichts mehr über diesen Gegenstand veröffentlicht.

Es sey mir erlaubt, über die Art und Weise, wie Jakobi mittelst jener Formeln eine Theorie der elektromagnetischen Kraftmaschinen zu entwerfen versucht hat, noch einige Worte beizufügen. Sie gelten nur für den Fall, wie er ausdrücklich gesagt hat, daß bei gegebener Drahtmasse die disponibeln Becher so geordnet sind, daß ein Maximum von Stromstärke erhalten wird, was, wie Lenz und Jakobi früher bewiesen haben, dann der Fall ist, wenn der Widerstand der Batterie dem Widerstand des Schlie-

ßungsbogens gleich iſt. — Dadurch nun, daß ſich die Formeln nur auf einen ſo ſpeciellen Fall beziehen, ſcheint mir nun ihre Anwendbarkeit zu ſehr beſchränkt zu ſeyn.

Jakobi's Formeln geben einen Zuſammenhang zwiſchen dem mechaniſchen Effect, der Becherzahl, der elektromotoriſchen Kraft und dem Leitungswiderſtand der Säule. Hier ſcheint es nun, als ob man eher hoffen dürfte eine genügende Löſung zu erhalten, wenn man die von Jakobi behandelte Frage in zwei ſpaltet, wenn man zuerſt ermittelt, welche Beziehung findet ſtatt zwiſchen Stromſtärke, Rotationsgeſchwindigkeit und mechaniſcher Wirkung. Iſt einmal dieſe Frage beantwortet, ſo iſt es nachher leicht zu ermitteln, mit welcher Einrichtung der Batterie man eine gewünſchte Stromſtärke am zweckmäßigſten erhält.

Durch die Trennung dieſer Fragen gewinnt man jedenfalls eine klarere Einſicht in den Zuſammenhang der Erſcheinungen; die allgemeinen Stromverhältniſſe erſcheinen nicht verwickelt mit den ſpecifiſchen Verhältniſſen elektromagnetiſcher Motoren, wie dies in der letzten Behauptung Jakobi's der Fall iſt.

Die Verſchiedenheit im Verhältniß zwiſchen Zinkconſumtion und Effect, je nachdem man eine Grove'ſche oder eine Daniell'ſche Batterie anwendet, tritt nicht allein bei elektromagnetiſchen Motoren auf, ſondern ſie iſt allen Stromwirkungen gemeinſchaftlich; die Behauptung, welche Jakobi von dem mechaniſchen Effecten aufſtellt, gilt ganz allgemein von der Stromſtärke und von allen Wirkungen, welche der Strom hervorbringt.

Durch einen beliebigen Schließungsbogen gehe der Strom einer Säule von n Grove'ſchen Bechern, deren Anzahl ſo gewählt iſt, daß der Widerſtand der Batterie gleich iſt dem des Schließungsbogens, für welchen Fall, wie Lenz und Jakobi zuerſt gezeigt haben, die Stromſtärke größer iſt als für jede andere Combination derſelben Becherzahl.

Nun ſoll dieſelbe Wirkung mit einer Daniell'ſchen Batterie hervorgebracht werden. —Soll die Säule dieſelbe elektromotoriſche Kraft haben wie im vorigen Falle, ſo muß man eine Säule von $\frac{7}{4}\,n$ Daniell'ſchen Bechern anwenden, weil die elektromotoriſche Kraft jedes einzelnen nur $\frac{4}{7}$ von dem eines Grove'ſchen Bechers iſt. Sind nun außerdem die Daniell'ſchen Becher ſo groß gemacht, daß der Widerſtand der ganzen Säule jetzt gerade ſo groß iſt als der Widerſtand obiger Grove'ſchen Säule, ſo muß nothwendig die Stromſtärke in beiden Fällen ganz gleich ſeyn, da ja bei gleichem Schließungsbogen auch die elektromotoriſchen Kräfte und die Widerſtände der Säulen gleich ſind.

Iſt ein Voltameter in den Schließungsbogen eingeſchaltet, ſo wird man alſo mit beiden Säulen gleiche Waſſerzerſetzung erhalten; gleiche Glüher-

ſcheinung, wenn ſich ein dünner Draht im Schließungsbogen befindet, gleichen mechaniſchen Effect, wenn der Strom die Spiralwindungen eines elektromagnetiſchen Motors durchläuft. Während in allen dieſen Fällen die gleiche Wirkung im Schließungsbogen erzielt wird, durchläuft derſelbe Strom einmal n, das andere mal $^7/_4 n$ Zellen, im letzteren Falle wird alſo bei gleichem Effect im Schließungsbogen die Zinkconſumtion $^7/_4$mal ſo groß ſeyn als im erſten.

Daraus ergiebt ſich wieder auf eine ganz anſchauliche Weiſe, daß von einem elektrothermiſchen Aequivalent des in der Säule galvaniſch verzehrten Zinkes keine Rede ſeyn kann, wie dies bereits in etwas anderer Form auf Seite 382 geſagt worden iſt.

Theorie der elektromagnetiſchen Motoren von Joule und Scoresby. Außer den erſten Verſuchen Jakobi's, eine Theorie der elektromagnetiſchen Kraftapparate zu entwickeln, iſt dieſer Gegenſtand nur noch von Joule und Scoresby behandelt worden, welche ihre theoretiſchen Betrachtungen und Verſuche in einem kleinen Aufſatz beſchrieben haben, der ſich im 28. Bande des Philosophical Magazine (Seite 484) findet. Joule hat ſchon früher Einiges über den Zuſammenhang zwiſchen den thermiſchen und mechaniſchen Wirkungen des Stromes und die zu ſeinen Unterhalte nöthige Conſumtion in der Batterie bekannt gemacht (Phil. Mag. vol. XVIII und XIX). Leider ſind mir die früheren Bände des Philosophical Magazine nicht zugänglich, und ich muß mich deshalb darauf beſchränken, über den gemeinſchaftlichen Aufſatz von Joule und Scoresby zu berichten. 211

Der Grundgedanke, welchen die beiden Naturforſcher in demſelben durchzuführen verſuchen, iſt, wenn ich recht verſtanden habe, kurz folgender: Wenn ein elektromagnetiſcher Motor in Ruhe gehalten wird, während ein Strom ſeine Drahtwindungen durchläuft, ſo wird eine der Stromſtärke entſprechende Wärmemenge in den Drähten entwickelt werden. Läßt man nun die Maſchine laufen, ſo nimmt die Stromſtärke ab, ein Theil der vorher entwickelten Wärme erſcheint alſo jetzt in mechaniſchen Effect verwandelt.

Die wichtigſte Stelle des beſprochenen Aufſatzes will ich hier wörtlich anführen, ſie heißt:

»Er (nämlich Joule) hat gezeigt, daß wenn alle Wärme, welche durch »die Conſumtion von 1 Gran Zink in einer Daniell'ſchen Batterie ent»wickelt wird, in nutzbare mechaniſche Kraft verwandelt werden könnte, ſie »der Hebung einer Laſt von 158 Pfd. auf die Höhe von 1 Fuß gleich »wäre. Bezeichnen wir die Stromſtärke, wenn die Maſchine in Ruhe »gehalten wird, mit a, wenn die Maſchine im Lauf iſt aber mit b, ſo ver-

»halten ſich die Wärmemengen, welche für beide Fälle in einer gegebenen »Zeit entwickelt werden, wie a^2 zu b^2. Weil ſich aber die Quantitäten »von Zink, welche verzehrt werden, wie a zu b verhalten, ſo verhalten ſich »auch die in beiden Fällen durch gleiche Zinkmengen erzeugten Wärme»quantitäten wie a zu b oder direct wie die Stromſtärken; $a - b$ ſtellt »die in mechaniſcher Wirkung verwandelte Wärmemenge dar. Bezeichnet »man nun mit x den in Fußpfunden ausgedrückten mechaniſchen Effect, »welcher durch die Conſumtion von 1 Gran Zink hervorgebracht werden »kann, ſo haben wir

$$x = 158 \frac{a - b}{a}$$

»Nach der obigen Auseinanderſetzung iſt es klar, daß die öconomiſche »Leiſtung ein Maximum wird, wenn b verſchwindet, oder wenn es wenig»ſtens ſehr klein im Vergleich gegen a iſt. In dieſem Fall wird $x = 158$, »während die Kraft der Maſchine unendlich klein wird, wenn man die »in einer Zeit hervorgebrachte mechaniſche Wirkung ins Auge faßt.«

Joule und Scoresby haben es auch verſucht, ihre Formel durch das Experiment zu beſtätigen. In der folgenden Tabelle habe ich die Reſultate der 6 Verſuche zuſammengeſtellt, welche ſie in dieſer Beziehung gemacht haben.

	Stromſtärke wenn die Maſchine		Mechaniſcher Effect in Fußpfunden pr. Stunde.	Zinkconſumtion in 1 Stunde.
	in Ruhe a	in Bewegung b		
1	2232	920	21100	205 Gran
2	2232	850	17820	190 »
3	1381	850	8800	190 »
4	1381	678	9000	151 »
5	2081	1300	10030	291 »
6	2035	1000	12672	223 »

Dividirt man den Zinkverbrauch in den entſprechenden mechaniſchen Effect, ſo ergiebt ſich der mechaniſche Effect für 1 Gran Zink; dieſer läßt ſich aber auch aus der oben entwickelten Theorie ableiten, wenn man in die Gleichung $x = 158 \frac{a - b}{a}$ für a und b die coreſpondirenden Wer-

the aus obiger Tabelle ſubſtituirt. Stellt man die beobachteten und die berechneten Werthe von x zuſammen, ſo ergiebt ſich folgende Tabelle.

beobachtet	berechnet	
93	103	0,903
98	94	1,04
60,7	46,3	1,31
80,4	59,6	1,51
59,3	34,5	1,71
80,3	56,8	1,40

Die letzte Columne dieſer Tabelle enthält das Verhältniß der berechneten Werthe von x zu den beobachteten, die Zahlen dieſer Columne ſind alſo dadurch erhalten, daß man die der erſten durch die der zweiten dividirt.

Man ſieht nun, daß die beobachteten und die berechneten Werthe von x ſehr ſtark von einander abweichen, und daß auch das Verhältniß zwiſchen beiden ſehr veränderlich iſt, indem es zwiſchen 0,9 und 1,7 ſchwankt.

Dieſe Vergleichung ſpricht nicht ſehr zu Gunſten der Theorie, deren Entwickelung gleichfalls noch viel zu wünſchen übrig läßt. Die Art und Weiſe, wie die beiden engliſchen Gelehrten ihre Verſuche anſtellten, iſt aber gewiß die einzige, welche hier zu einem Ziele führen kann, nur wäre zu wünſchen, daß der mechaniſche Effect nicht bloß in Fußpfunden ausgedrückt wäre, ſondern daß in jedem Fall die Größe der gehobenen Laſt und die Geſchwindigkeit angegeben würde.

Durch dieſe Auseinanderſetzungen glaube ich dargethan zu haben, daß die Theorie der elektromagnetiſchen Motoren noch in ihrer erſten Kindheit liegt, daß alſo auf dieſem Felde noch ſehr viel zu thun übrig bleibt.

Die Reibungselektricität in ihrer Anwendung auf die Telegraphie. Den erſten Verſuchen zu einer elektriſchen Telegraphie gingen die im Jahre 1746 durch Winkler in Leipzig, 1747 durch Watſon in London, ſo wie durch Le Monnier in Paris angeſtellten Unterſuchungen über die Geſchwindigkeit der in Bewegung befindlichen Reibungselektricität unmittelbar vorher. 212

Der Erſte, der hiervon eine Anwendung auf die Telegraphie gemacht hat, ſcheint Leſage aus Genf geweſen zu ſein. Derſelbe conſtruirte 1774 einen Telegraphen aus 24 iſolirten Metalldrähten, an deren Enden

Paare von Hollunderkügelchen angehängt waren, welche an dem einen Ende divergirten, ſobald das andere Ende mit dem Conductor einer in Thätigkeit befindlichen Elektriſir-Maſchine verbunden wurde. Durch das Auseinandergehen des einen oder des anderen Paares dieſer Kügelchen konnte nach Belieben jeder der 24 Buchſtaben ſignaliſirt werden.

Lomond (Young's travels in France, 1787, 4 ed. I. p. 79) hatte ein entfernt ſtehendes Elektrometer aus Hollunderkügelchen durch einen langen Meſſingdraht mit dem Conductor einer Elektriſir-Maſchine verbunden und konnte mittelſt dieſes einen Drahtes durch geeignete Gruppirung mehrerer Divergenzen behufs der Bezeichnung der Buchſtaben ſich eben ſo gut in die Ferne verſtändlich machen, als Leſage dieſes mit 24 Drähten erreichte.

Reißer (Voigt's Magazin, Bd. 9. S. 1.) machte 1794 den Vorſchlag, auf der einen Station 26 Glastäfelchen, jedes mit einem auf die bekannte Weiſe in Staniolſtreifen ausgeſchnittenen Buchſtaben verſehen, aufzuſtellen, das untere Staniolende eines jeden Buchſtabens durch einen beſonderen Draht, dagegen alle oberen Staniolenden durch einen ſiebenundzwanzigſten Draht mit der entfernten Station zu verbinden. Vermittelſt der Entladung einer Leydener Flaſche durch den einen oder den anderen Draht gedachte er auf der entfernten Station in den Lücken des unterbrochenen Staniolſtreifens überſpringende Funken zu erzeugen und dadurch den betreffenden Buchſtaben in glänzender und leuchtender Geſtalt zu ſignaliſiren.

Einen praktiſcheren Vorſchlag machte faſt gleichzeitig Böckmann; auch er gedachte einen an der entfernten Unterbrechungsſtelle der aus zwei Drähten beſtehenden Leitung überſpringenden Funken als Signal zu wählen und durch Combination von Funkengruppen die Buchſtaben zu repräſentiren.

Dr. Salva (Voigt's Mag., Bd. 11, St. 4) zu Madrid führte 1798 einen ähnlichen Telegraphen in ziemlich großem Modelle aus, und in demſelben Jahre zog der Franzoſe Betankourt (Gauß und Weber, »Reſultate des magnet. Ver.« Götting. 1838. S. 14) eine Drahtkette von Aranjuez nach Madrid, vermittelſt welcher die Entladung einer elektriſchen Batterie zu einer telegraphiſchen Correſpondenz benutzt werden konnte.

Alle dieſe, ſowie die 1797 von Cavallo (deſſen Elektr.-Lehre, 1797) und 1816 von Rolands (Description of an electr. telegr., London 1823, auch in Bullet. univ. I. 38) auf die Entladung einer Flaſche oder einer Batterie gegründeten Vorſchläge zu einer elektriſchen Telegraphie ſind an den vielen Hinderniſſen geſcheitert, welche die Unbeſtändigkeit der Elektriſir-Maſchine, ihre Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitszuſtande der

Luft, die Schwierigkeit einer vollständigen Isolirung mehrerer Drähte und die Unsicherheit in der Beobachtung des Funkens mit sich führen.

Der Galvanismus in seiner Anwendung auf die Telegraphie. 213 Mit der Entdeckung des Galvanismus, der Volta'schen Säule und ihrer Wirkungen ging auch die Telegraphie einen Schritt weiter. Im Jahre 1808 construirte Sömmering in München (Denkschr. d. K. Akad. der Wissensch. zu München für 1809) einen Apparat, in welchem er die durch die Volta'sche Säule bewirkte Wasserzersetzung zum Telegraphiren benutzte. Auf derjenigen Station, wohin eine Nachricht gelangen sollte, waren in einem schmalen Wasserbehälter 35 mit Wasser angefüllte und mit Buchstaben oder Ziffern bezeichnete Gläschen umgestülpt; auf der andern Station befanden sich eben so viele und eben so bezeichnete Messingcylinderchen, von denen jedes das eine Ende eines Drahtes trug, der zu der entfernten Station hinlief und dort mit seinem vergoldeten Ende in das entsprechende Gläschen mündete. Wurden nun zwei dieser Cylinder mit den Polen einer Volta'schen Säule verbunden, so zersetzte der entstandene und durch die mit dem Cylinder verbundenen Drähte circulirende galvanische Strom in denjenigen Gläschen, in denen diese Drähte endigten, das Wasser, dessen luftförmige Bestandtheile in Form von Bläschen in die Höhe stiegen und so zwei Zeichen zugleich angaben, deren Reihenfolge dadurch bestimmt war, daß immer der Buchstabe des Wasserstoffgläschens voranging. Die 35 Leitungsdrähte waren so gut als möglich isolirt und in einiger Entfernung von den Apparaten zu einem Strange zusammengewunden.

Wegen der großen Kosten der vielen Drähte und der Unmöglichkeit, dieselben auf längere Zeit und in einer größern Strecke gehörig isolirt zu halten, konnte an eine Anwendung dieses Telegraphen im Großen nicht gedacht werden.

Die Ideen Schweigger's, ebenfalls durch die Wasserzersetzung alle Sömmering'schen Signale vermittelst einer nur aus zwei Drähten bestehenden Leitung darzustellen, indem eine schwächere und eine stärkere Batterie in Anwendung kommen und außerdem noch die Zeit in Betracht gezogen werden sollte, welche theils während einer jeden Gasentwickelung, theils als Pause zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gasentwickelungen verfließt, sind nur im Modelle, die fünf Jahre später von Cope, Professor zu Philadelphia (Ann. de Philad. par Thompson, 1810) gemachten Vorschläge aber, die Einwirkung der Volta'schen Säule auf das Wasser, auf Salze oder andere chemische Substanzen zum Telegraphiren zu benutzen, gar nicht zur Ausführung gekommen.

Viel später, im Jahre 1839, hat Vorsselman de Heer (Pogg. Ann. Bd. 46. S. 513) eine von dem vorigen ganz abweichende, aber in

ihrem Weſen auf rein galvaniſchen Principien beruhende und daher ſchon hier zu beſchreibende telegraphiſche Methode vorgeſchlagen und in kleinerem Maaßſtabe zur Ausführung gebracht.

Dieſer Telegraph beruht auf den phyſiologiſchen Wirkungen der galvaniſchen Ströme und nimmt daher das Gefühl zum Empfangen der Zeichen in Anſpruch. Zehn Leitungsdrähte verbinden die durchaus gleichen Apparate der beiden Stationen; dieſelben beſtehen aus zehn von einander getrennten und mit den Leitungsdrähten verbundenen metalliſchen Taſtenpaaren. Der Beobachter, welcher eine Nachricht empfangen ſoll, hält ſeine Finger auf den zehn Taſten und kann nun von der andern Station aus, woſelbſt zur Erzeugung des Stromes ein Inductions-Apparat aufgeſtellt iſt und durch Niederdrücken je zweier Taſten die Kette geſchloſſen wird, gleichzeitige Erſchütterung erhalten

a) in einem Finger der rechten Hand und einem Finger der linken Hand,

b) in zwei Fingern der rechten Hand, oder

c) in zwei Fingern der linken Hand.

Die Erſchütterungen a) geben offenbar in 25 verſchiedenen Combinationen eben ſo viele Zeichen, nämlich die 25 Buchſtaben; der Erſchütterungen b) giebt es zehn, ſie bezeichnen die Ziffern, während in den Signalen c) noch zehn Zeichen für den reglementären Theil des Dienſtes, zur Bezeichnung des Wortendes u. dergl. hinzukommen.

Der Mechanismus dieſes Telegraphen iſt höchſt ſinnreich, einfach und ohne namhafte Koſten herzuſtellen; aber es haben wieder die bedeutenden Koſten der zuſammengeſetzten Drahtleitung, ſo wie die Schwierigkeit ihrer Iſolirung der Ausführung deſſelben im Großen unüberſteigliche Hinderniſſe entgegengeſetzt.

Die Erfahrung hat übrigens in der neueſten Zeit gelehrt, daß häufige, ſich oft hintereinander wiederholende elektriſche Erſchütterungen die Beobachter unempfindlich machen. Die Arbeiter in der Gutta-Percha-Drahtfabrik zu Berlin, welche ſich mit der Prüfung der angefertigten Drähte beſchäftigen, haben oft nach vollbrachtem Tage in der Hand bis zum Arm hinauf das Gefühl verloren und ſind dann eine Zeit lang unfähig, ſchwächere Schläge wahrzunehmen.

Der Elektromagnetismus in ſeiner Anwendung auf die Telegraphie.

214 **Die erſten Verſuche einer Nadel-Telegraphie.** Noch in demſelben Jahre, welches Oerſtedt's glänzende Entdeckung bezeichnet, ſprach ſich Ampère (Ann. de phys. et de chim. t. XV. p. 72) über ſeine

Idee zu einem elektromagnetiſchen Telegraphen folgendermaßen aus: »Mittelſt eben ſo vieler Magnetnadeln und Leitungsdrähte, als es Buchſtaben giebt und mit Hülfe einer entfernt ſtehenden Volta'ſchen Säule, deren Pole man nach einander mit den Enden der Leitungsdrähte verbindet, kann man, indem jede Nadel ein beſonderes Zeichen trägt, einen Telegraphen herſtellen, durch welchen man einer entfernt ſtehenden Perſon, die mit der Beobachtung der Nadeln und ihrer Zeichen beauftragt iſt, alle möglichen Mittheilungen machen. Wenn man bei der Säule ein Taſtenwerk anbrächte, deren Taſten mit denſelben Buchſtaben verſehen ſind, und welche die Säule durch ihr Niedergehen ſchließen, ſo könnte dieſes Correſpondenz-Mittel mit großer Leichtigkeit gehandhabt werden und würde nicht mehr Zeit erfordern, als nöthig wäre, um auf der einen Station die Taſten niederzudrücken, und auf der andern jeden abgelenkten Buchſtaben abzuleſen.«

Ritchie (Froriep's Notizen, Bd. 27, Nr. 6, S. 86) führte den Ampère'ſchen Vorſchlag mit einer zweckmäßigen Abänderung im Modelle aus. Dreißig Nadeln umgab er mit Multiplicatoren; jede Nadel trug einen leichten Schirm, welcher in dem Ruhezuſtande der Nadel einen Buchſtaben bedeckte und denſelben ſehen ließ, ſobald die Nadel unter dem Einfluſſe eines Stromes abgelenkt wurde.

Aehnliche Vorſchläge gingen von Fechner (Deſſen Lehrb. des Galvanismus, Leipzig 1829, S. 269, und Deſſen Repert. d. Exp.-Phyſ., 1832, I. S. 403) aus, und ſpäter haben Davy und Alexander in England derartige Nadelapparate im Kleinen zur Ausführung gebracht, in denen ſämmtliche Multiplicatoren einen einzigen, gemeinſamen Rückleitungsdraht hatten und alſo die ganze Drahtleitung beinahe auf die Hälfte reducirt war.

Erſt im Jahre 1832 gelang es dem ruſſiſchen Staatsrathe Schilling von Cannſtatt (Ampot in Abhandl. der Par. Akad. der Wiſſenſch. vom 9. Juli 1838), die telegraphiſchen Vorrichtungen ſo zu vereinfachen, daß ſie einer praktiſchen Ausführung fähig geweſen wären. Er wandte nämlich nur einen einzigen Multiplicator mit einer Nadel, überhaupt alſo nur zwei Leitungsdrähte an und konnte nun durch geeignete Combination von mehreren, bald links, bald rechts erfolgenden Nadelablenkungen alle erforderlichen Zeichen hervorbringen. Aber auch er hat es nicht vermogt, die mit der Ausführung ſeiner Ideen im Großen verbundenen Schwierigkeiten zu überwinden.

Die Nadeltelegraphen.

215 **Nadeltelegraph von Gauß und Weber.** So bleibt also die Ehre, den ersten brauchbaren elektrischen Telegraphen angelegt zu haben, den beiden deutschen Physikern Gauß und Weber vorbehalten, welche 1833 einen vereinfachten Apparat zum erstenmale im Großen zur Ausführung brachten und anstatt der bisher üblichen Volta'schen Säule den Inductionsstrom anwandten.

Ihr telegraphischer Apparat bestand aus einem Inductor, zur Erzeugung des Inductionsstromes, aus einem Commutator und einem Observations-Apparate. Der Inductor war eine aus 1050, später aus 3537 Umwindungen bestehende Drahtrolle, welche an zwei Griffen auf drei zusammengelegte 25pfündige Magnetstäbe rasch aufgestürzt und wieder davon abgezogen werden konnte. Die beiden Enden dieser Drahtrolle standen in Verbindung mit einem Commutator und durch diesen mit den zwei isolirten Leitungsdrähten, welche Weber über die Häuser und Thürme der Stadt Göttingen zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Kabinette ausgespannt hatte. An dem andern Ende waren diese Leitungsdrähte mit dem Drahtgewinde des Observations-Apparates verbunden. Dieser letztere war ein Gauß'sches Magnetometer, bestehend aus einem kräftigen Multiplicator mit 4—25pfündigem Magnetstabe, Spiegel und Fernrohr, durch welches die Zuckungen des Magnetstabes beobachtet wurden, welche durch die auf der entgegengesetzten Station erzeugten Inductionsströme hervorgerufen wurden. Dort entstanden nämlich durch ein rasch hintereinander folgendes Aufstürzen und Abziehen der Inductor-Rolle zwei einander entgegengesetzte Inductionsströme, in Folge deren auf der andern Station der Magnetstab innerhalb des Multiplicators keine weite Excursion machen konnte, vielmehr nach einer kleinen Zuckung sogleich wieder in seine Ruhelage zurückkehren mußte. Vermittelst des Commutators konnte bei gleichbleibender Erregungsweise des Stromes dem nach dem Fernrohre hin gerichteten Magnetpole eine Ablenkung nach der Rechten oder nach der Linken gegeben werden.

Durch Combination dieser zwei Elementarzeichen wurde das Alphabet gebildet, welches, da höchstens vier dieser Zeichen in einer einzigen Gruppe vorkamen, aus 30 Signalen, 20 Buchstaben und 10 Ziffern bestanden.

Indem Steinheil das Princip des Gauß'schen Telegraphen (Nadelablenkung und Inductionsstrom) beibehielt, wandte er als Stromerreger eine Clarke'sche Magneto-Elektrisirmaschine und als Zeichengeber zwei innerhalb desselben Multiplicators aufgehängte Magnete an, welche von

der entfernten Station aus einzeln nach der Willkür des Telegraphisten abgelenkt werden konnten und dann die Elementarzeichen entweder auf einen Papierstreifen abdruckten oder durch Anschlagen von Glocken hörbar angaben. Auf diese Weise entstand der erste Drucktelegraph, dessen an dieser Stelle nur vorübergehend Erwähnung geschieht, weil er seiner Einrichtung nach unter die Drucktelegraphen gehört. Es muß jedoch hinzugefügt werden, daß Steinheil bei den Versuchen, die er im Sommer 1838 auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn anstellte, um zu erfahren, ob sich die beiden Gleise einer Eisenbahn als Leitung für den Telegraphen benutzen lassen, zu der folgereichen Entdeckung gelangte, daß das Erdreich selbst sich als Leiter für den Strom benutzen lasse und dadurch die Hälfte der Leitungskette erspart werden könne. Anstatt daher einen doppelten, hin- und zurücklaufenden Leitungsdraht anzuwenden, verband er auf jeder Station die Enden eines einzigen Drahtes mit einer großen, in das feuchte Erdreich eingegrabenen Metallplatte (gegenwärtig Erdplatte genannt) und ersetzte auf diese Weise die zweite Hälfte des Drahtes durch die zwischen den beiden Erdplatten befindliche feuchte Erdschicht. (Astronom. Jahrb. von Schuhmacher für 1839, S. 171).

Steinheil ist daher als der Erfinder der Drucktelegraphen und als Entdecker der galvanischen Erdleitung zu bezeichnen.

Cooke und Wheatstone. Die ersten Telegraphen von Cooke, der 216
bei der Construction derselben zunächst nur Eisenbahnzwecke verfolgte, bestanden aus einer einzigen, innerhalb eines Multiplicators aufgehängten Magnetnadel, deren zwei einfache Ablenkungen die auf einen Dampfwagenzug bezüglichen Worte »her« und »hin« bezeichneten. Später nahm er zwei Nadeln mit acht Signalen und führte ein solches System auf der Edingburg-Glasgow-Eisenbahn aus. Im Juni 1837 nahm er in Verbindung mit Wheatstone für England ein Patent auf einen zusammengesetzten Apparat mit fünf Nadeln und fünf Leitungsdrähten, der zwar bei Weitem vollkommener und bequemer war, als die früheren, aber im Vergleich zu den um dieselbe Zeit in Deutschland bestehenden Einrichtungen von Steinheil als unpraktisch und hinsichtlich der Leitung als höchst kostspielig bezeichnet werden muß. Er kam zwar auf eine Länge von 39 engl. Meilen auf der Great-Western-Eisenbahn zur Ausführung, aber die Kosten waren so bedeutend, daß eine weitere Fortsetzung der Linie unterbleiben mußte.

Bei diesem Systeme stand auf jeder Station ein Rahmen mit fünf Multiplicatoren und Nadeln, nebst einer Claviatur von eben so vielen Tasten und der Batterie. Die Multiplicatoren standen einerseits mit die-

ſen Taſten, andererſeits mit den fünf Leitungsdrähten in Verbindung und konnten durch Niederdrücken der Taſten mit der Batterie verbunden werden. In jedem Falle wurde der Strom gleichzeitig durch je zwei Multiplicatoren geleitet und dadurch wurden ſtets zwei Nadeln zugleich abgelenkt, jedoch nie in paralleler Richtung. Die 20 Convergenzpunkte dieſer Ablenkungsrichtungen waren mit Buchſtaben bezeichnet; eine jede Ablenkung gab daher direct den gewünſchten Buchſtaben an. — Durch Vermehrung der Anzahl der Leitungsdrähte um einen ſechsten wurden ſpäter noch fünf Signale hinzugenommen (Dingl. Journ. Bd. 72. S. 56, 144 u. 213.)

217 **Cooke und Wheatſtone's neueſter einfacher und Doppelnadel-Apparat.** Die Mängel des vorigen Apparates wurden ſehr bald bemerklich; die vielen Leitungsdrähte machten die Anlage einer Linie ſehr koſtſpielig und waren auf die Dauer nicht in demjenigen Zuſtande der Iſolation zu erhalten, der für ein verläßliches Arbeiten durchaus nothwendig war. Die Erfinder gaben daher ihr Syſtem auf und indem ſie auf das directe Signaliſiren der Buchſtaben verzichteten, adoptirten ſie das Gauß'ſche Syſtem und ſtellten die Signale durch Combination der zwei Ausſchläge von einer oder höchſtens von zwei Magnetnadeln dar.

Die Fig. 186 (ſ. f. S.) zeigt die vordere Anſicht eines Nadeltelegraphen mit der Signalſcheibe. Ein verticalſtehender Multiplicator befindet ſich innerhalb des Gehäuſes, auf deſſen Außenſeite ſich das Zifferblatt und ein Zeiger befindet. Unterhalb deſſelben iſt ein Griff angebracht, durch deſſen Drehung nach rechts und nach links die Richtung des Stroms im Multiplicator ſo regulirt wird, daß der Zeiger auf dieſem Zifferblatte immer dieſem Griffe parallel nach der Rechten oder der Linken abgelenkt wird. Zur Seite der Nadel befinden ſich kleine Anhaltſtifte, welche den Ausſchlag der Nadel innerhalb einer kleinen Gränze geſtatten.

Die innere Einrichtung dieſes Apparates iſt aus Fig. 187 (ſ. f. S.) zu erſehen. *A* iſt der Multiplicator, welcher durch einen etwa 400 Fuß langen dünnen überſponnenen Kupferdraht gebildet wird, der auf einem Rahmen von dünnem Meſſingblech aufgewunden iſt. Die beiden Abtheilungen der Multiplicatorwindungen ſind in unſerer Zeichnung abſichtlich etwas weiter auseinander gerückt, als es in der Wirklichkeit ſein darf, damit die Einrichtung beſſer überſehen werden kann. Eine horizontale, durch die Mitte des Rahmens hindurchgehende Axe trägt nun zwei Nadeln, von denen die eine, innerhalb des Rahmens liegend, theilweiſe in unſerer Figur ſichtbar iſt, während die andere, auf der Vorderſeite des Kaſtens liegend, zugleich als Zeiger dient. Beide Magnetnadeln ſind

Fig. 186.

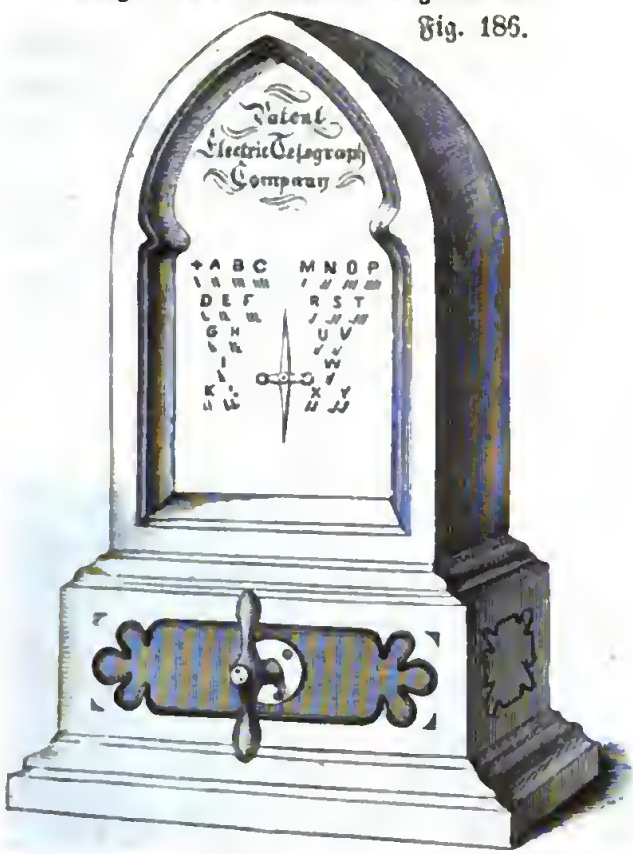
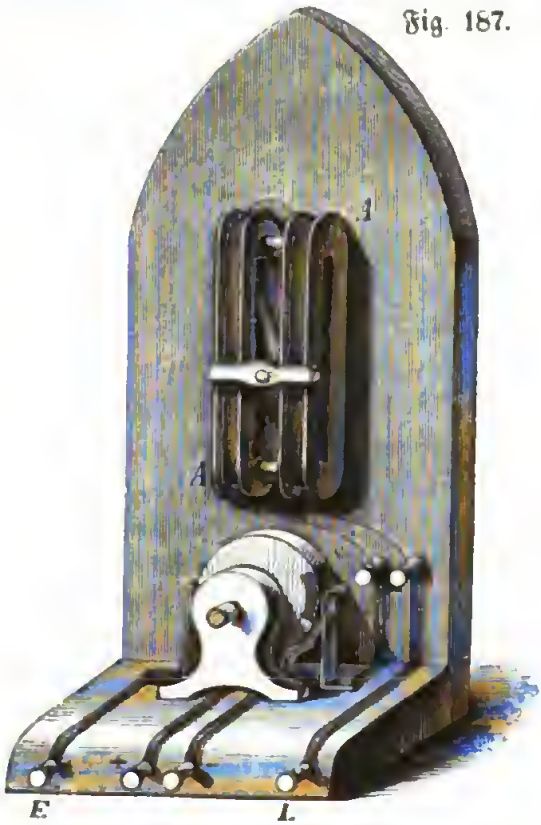


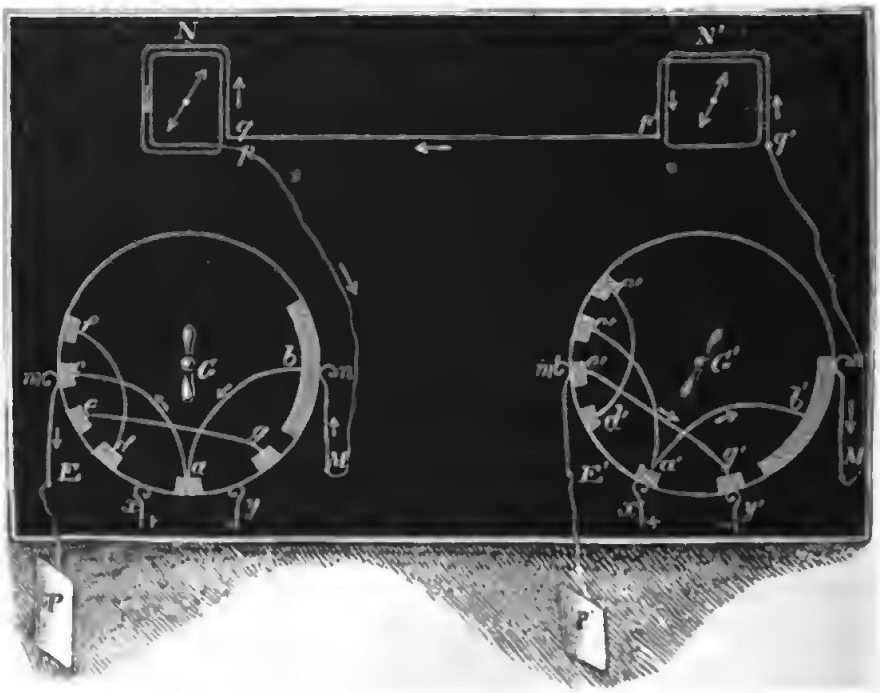
Fig. 187.



parallel; die eine hat den Nord-, die andere den Südpol nach unten gekehrt, ſo daß die richtende Kraft des Erdmagnetismus keine Wirkung auf das Nadelpaar ausüben kann, während der galvaniſche Strom in gleichem Sinne auf beide wirkt.

Der wichtigſte Theil des Apparates iſt offenbar der ſog. Schlüſſel, der durch die Drehung des Handgriffes in Bewegung geſetzt wird und der für den richtigen Lauf des Stromes zu ſorgen hat. Die Einrichtung dieſes Theils des Inſtruments hat mancherlei Abänderungen erlitten; die einfachſten Vorkichtungen dieſer Art ſind in Fig. 188 ſchematiſch abgebildet.

Fig. 188.



Die Figur bezieht ſich auf zwei mit einander in Verbindung ſtehende Stationen Wie der Schlüſſel mit den übrigen Theilen des Apparates in Verbindung gebracht iſt, erſieht man aus Fig. 187.

G iſt der auf der Außenſeite des Gehäuſes hervortretende Griff des Schlüſſels. Auf der Axe deſſelben ſitzt eine Holzſcheibe feſt, welche ſich demnach innerhalb einer durch Aufhälter markirten Gränze nach der Rechten und nach der Linken drehen läßt. Die Randfläche iſt mit ſieben Contactſtücken, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, von Meſſing verſehen, deren Zwiſchenräume durch Elfenbein ausgefüllt ſind. Auf der Vorderſeite der Scheibe ſind einige dieſer Contactſtücke, nämlich *a* mit *b* und *c*, *f* mit *d*, ſowie *e* mit *g* durch Metallſtreifen, die ſich nicht berühren, mit einander verbunden.

Gegen den Rand dieſer Scheibe federn vier Contactfedern, x, y, m, n, von denen die zwei erſteren, x, y, mit den Polen der Batterie, m mit der Erdplatte und n mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes N in Verbindung ſtehen. Die Anordnung der Scheiben und ihrer Federn iſt auf beiden Stationen dieſelbe, mit dem alleinigen Unterſchiede, daß auf der einen Station (links) die Feder n mit dem Anfangspunkte p des Multiplicatordrahtes N, auf der andern Station aber dieſelbe Feder n' mit dem Endpunkte q' dieſes Drahtgewindes N' verbunden iſt. Die beiden andern Drahtenden q und p' ſind an dem Leitungsdrahte befeſtigt.

Im Zuſtande der Ruhe haben die Scheiben und Griffe G, G' die verticale Stellung, wie es der linke Theil der Zeichnung darſtellt. Dabei ſind die Batterien von der Leitung ausgeſchloſſen, alſo offen, da ihre Polfedern x, y nicht mit dem Metalle der Schlüſſel in Berührung ſtehen.

Wird aber, wie es bei G' zu ſehen iſt, der Schlüſſel ſo gedreht, daß der obere Theil des Griffes nach der Rechten zeigt, ſo wird dadurch die Batterie dieſer Station in die Leitung eingeſchaltet und der Strom circulirt in der Richtung:

Pol + $x' a' b' n' M' q' p'$, Leitung, $q p M n b a c m E P$, Erde, $P' E' m' e' g' y'$ — Pol.

Die Art der Windungen der Multiplicatoren N, N' iſt nun eine ſolche, daß bei dieſer Richtung des Stromes die Nadeln dieſelbe Ablenkung erleiden, welche dem Griffe G' gegeben war.

Eine Drehung des Griffes G' von der verticalen Stellung aus nach der Linken würde den Strom in folgender Richtung durch die Apparate ſenden: Pol + $x' d' f' m' E' P'$, Erde, $P E m c a b n M p q$, Leitung, $p' q' M' n' b' a' y'$ — Pol, alſo in einer der vorigen entgegengeſetzten Richtung, woher dann die Nadeln in entgegengeſetzter Richtung, d. h. links abgelenkt werden.

Die Zeichen werden nun durch verſchiedenartig combinirte Ausſchläge der Nadel gegeben. Das Alphabet iſt auf der vordern Seite des Inſtruments ſelbſt aufgezeichnet. \ bezeichnet einen Ausſchlag des obern Nadelendes nach der linken, / ein ſolches nach der rechten Seite. So iſt z. B. A durch zwei Ausſchläge nach der linken, N durch zwei Ausſchläge nach der rechten bezeichnet. — Ein Theil der ſchrägen Striche iſt halb ſo lang als die übrigen, wodurch ausgedrückt ſein ſoll, daß unter den zuſammenhängenden Strichen die kurzen zuerſt zu ſignaliſiren ſind; ſo iſt z. B. ausgedrückt: E durch rechts, links, links; I iſt ausgedrückt durch rechts, rechts, rechts, links; $L =$ rechts, links, rechts, links; $R =$ links, rechts; $Y =$ links, rechts, links, rechts u. ſ. w.

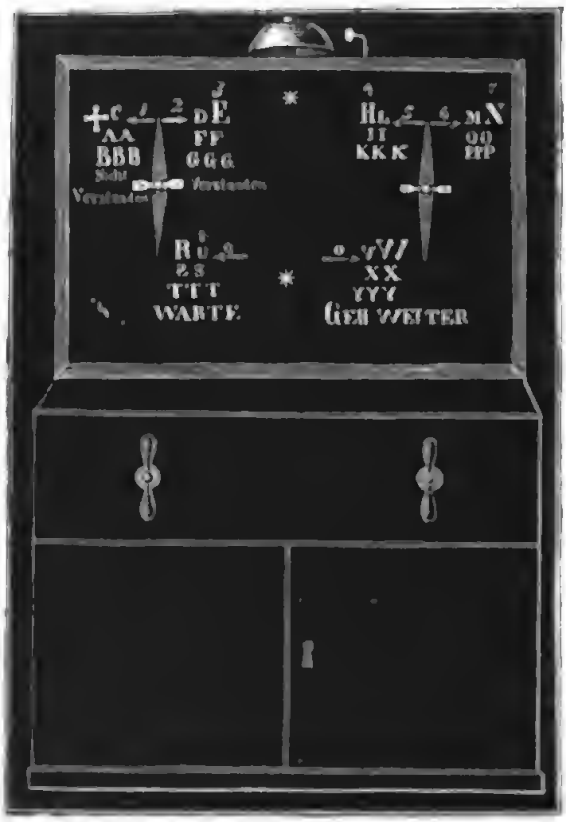
Dieſe Zeichen ſind zum Theil etwas complicirt und ihre Ausführung iſt ziemlich zeitraubend, weil ein großer Theil der Buchſtaben drei und

vier Ausſchläge erfordert. Dieſem Uebelſtande iſt nun durch den Doppelnadel-Telegraph abgeholfen; ein ſolches Inſtrument hat zwei Multiplicatoren der beſchriebenen Art, zwei Nadelpaare, zwei Schlüſſel u. ſ. w.; kurz, es iſt als die Combination zweier einfacher Nadel-Telegraphen zu betrachten. Es erfordert natürlicherweiſe außer der Erdleitung noch zwei Leitungsdrähte, außerdem noch eine Glocke nebſt Uhrwerk (Alarm), um durch Klingeln auf den Anfang des Telegraphirens aufmerkſam zu machen. Ueber die Einrichtung dieſes Läutewerkes ſpäter.

Solche Doppelnadel-Inſtrumente arbeiten gegenwärtig faſt auf allen Telegraphenlinien Englands, ſo wie zum größten Theile auch in Belgien und andern Ländern.

Fig. 189 zeigt die Vorderanſicht eines ſolchen Apparates mit der Signalſcheibe.

Fig. 189.



Die auf der oberen Hälfte des Zifferblatts befindlichen Zeichen werden durch das Ausſchlagen einer einzigen Nadel, die unteren Zeichen aber durch beide Nadeln hervorgebracht.

Die linke Nadel giebt durch einmaliges Ausſchlagen nach links +, als Zeichen für das Wortende, nach rechts *E*; durch zweimaliges Ausſchlagen nach links *A*, nach rechts *F*; durch dreimaliges Ausſchlagen nach links *B*, nach rechts *G*; durch zwei Ausſchläge erſt rechts, dann links *C*, erſt links, dann rechts *D*. Auf dieſelbe Weiſe giebt die rechte Nadel die Buchſtaben *H*, *N*, *I*, *O*, *K*, *P*, *L*, *M*. Eine parallele Bewegung beider Nadeln mit ihren untern Enden giebt die untern Zeichen an und zwar durch ein einmaliges Ausſchlagen nach links *R*, nach rechts *W*; durch zweimaliges Ausſchlagen nach links *S*, nach rechts *X*, durch dreimaliges Ausſchlagen nach links *T*, nach rechts *Y*.

Außerdem befinden sich noch auf dem Zifferblatte die Ziffern und die Worte »Verstanden«, »Nicht verstanden«, »Warte«, »Geh weiter«. Der Zeichengeber giebt nach jedem Wortende +, worauf der Empfänger das Zeichen *E* giebt, wenn er verstanden hat, und + giebt, wenn er nicht verstanden hat.

Der Uebergang von den Buchstaben zu den Ziffern wird von dem Geber dadurch angezeigt, daß er nach dem Wortende + ein *H* und sogleich darauf wieder + signalisirt; der Uebergang von den Ziffern zu den Buchstaben erfolgt auf demselben Wege. Die Ziffern werden durch die am leichtesten darzustellenden Buchstaben repräsentirt, nämlich 1 = *C*, 2 = *D*, 3 = *E*, 4 = *H*, 5 = *L*, 6 = *M*, 7 = *N*, 8 = *R*, 9 = *U*, 0 = *V*.

Der Uebergang von der öffentlichen Correspondenz zur geheimen mittelst des Signallexicons wird durch die Reihenfolge der Zeichen + *N* + angezeigt.

Ist der Telegraphist bei der Ankunft einer Depesche bereits beschäftigt, oder wird er sonst unterbrochen, so giebt er durch die Zeichen + *R* + das Signal »Warte«; ist er im Stande, die Depesche entgegenzunehmen, so giebt er durch + *W* + das Signal »Geh weiter«.

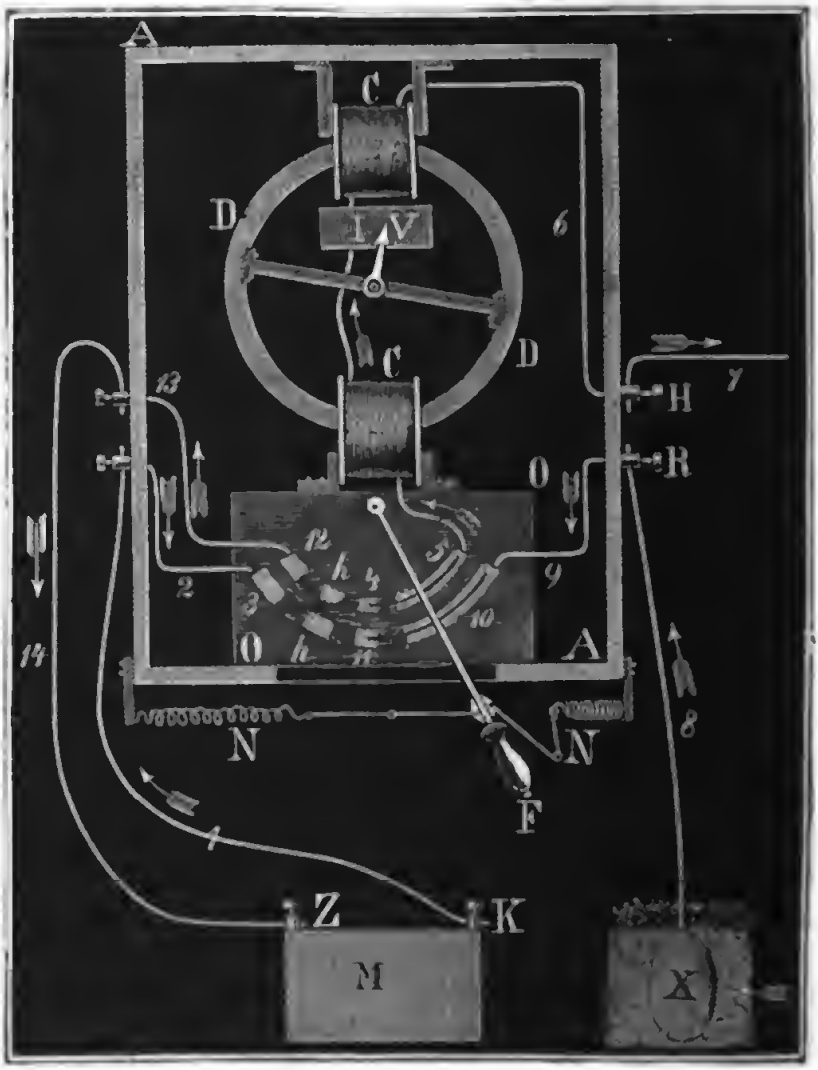
Auch in Oesterreich bedient man sich gegenwärtig noch der Nadelapparate, jedoch von einer andern durch A. Bain aus Edinburg erfundenen Construction (Dinglers Journ. Bd. 101. S. 75). Bain wendet nur eine einzige Nadel an und combinirt das Alphabet und die Ziffern durch Gruppen von höchstens vier Nadelausschlägen.

Fig. 190 (s. f. S.) zeigt die innere Einrichtung dieses Apparats.

Zwei halbkreisförmige Stahlmagnete bilden einen an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen unterbrochenen Kreis und sind zu dem Ende an einer um eine horizontale Axe drehbaren Messingstange befestigt, welche den Durchmesser des Magnetkranzes bildet. Die Unterbrechungsstellen zwischen den beiden mit gleichnamigen Polen einander genäherten Magneten liegen in der Höhlung zweier Holzspuhlen, welche von einem einzigen continuirlichen Kupferdrahte umwunden sind: das eine Ende desselben steht in fester Verbindung mit der Leitung, das andere mit einem Commutator, dessen Aufgabe darin besteht, bald dem von der andern Station kommenden Strome freien Durchgang durch die Drahtspulen zu verschaffen, bald auch den Strom der eigenen Batterie nach Willkür in der einen oder der andern Richtung durch die Leitung hindurchzusenden. Der Bain'sche Commutator ist zwar sinnreich, aber nicht bequem beim schnellen Operiren; er ist daher in den östreichischen Staatstelegraphen durch eine von dem Mechanikus Ekling in Wien erfundene, in Fig. 191 (s. S. 571) abgebildete Vorrichtung ersetzt.

Die beiden Drahtſpulen und ihre Magnete liegen in dem Käſtchen *C*; die verlängerte Axe *i* der letztern trägt den Zeiger *P*, der bald auf *I*, bald

Fig. 190.

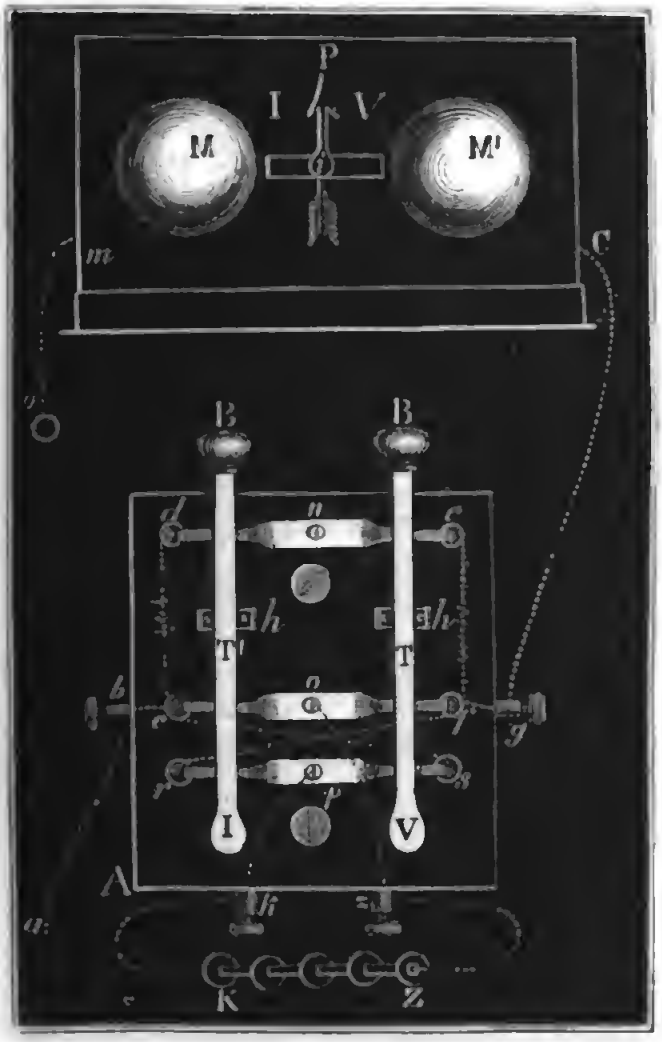


auf *V* zeigt und dabei zugleich gegen die verſchieden geſtimmten Metallglöckchen *M*, *M'* anſchlägt.

A iſt der Commutator; *T*, *T'* zwei um *h*, *h* drehbare Handhaben, welche durch die Bleiſtücke *B B* im Ruheſtande abwärts liegen, die Feder *n* mit *d* und *e* in Berührung erhalten, dagegen die Federn *o* und *p* frei laſſen, ſo daß dieſe nicht mit den Contactſtücken *c*, *f*, *r*, *s* in Verbindung ſtehen. *K Z* ſtellt die Batterie dar; bei *C* tritt das eine Ende des die Holzſpulen umwindenden Drahtes aus dem Käſtchen und geht zu *g* des Commutators, bei *m* das andere und geht in *o* zu dem Leitungs-

drahte; *b a* führt zu der Erdplatte; die metalliſche Verbindung der Federn und der einzelnen Contactſtücke iſt durch punktirte Linien angezeigt.

Fig. 191.

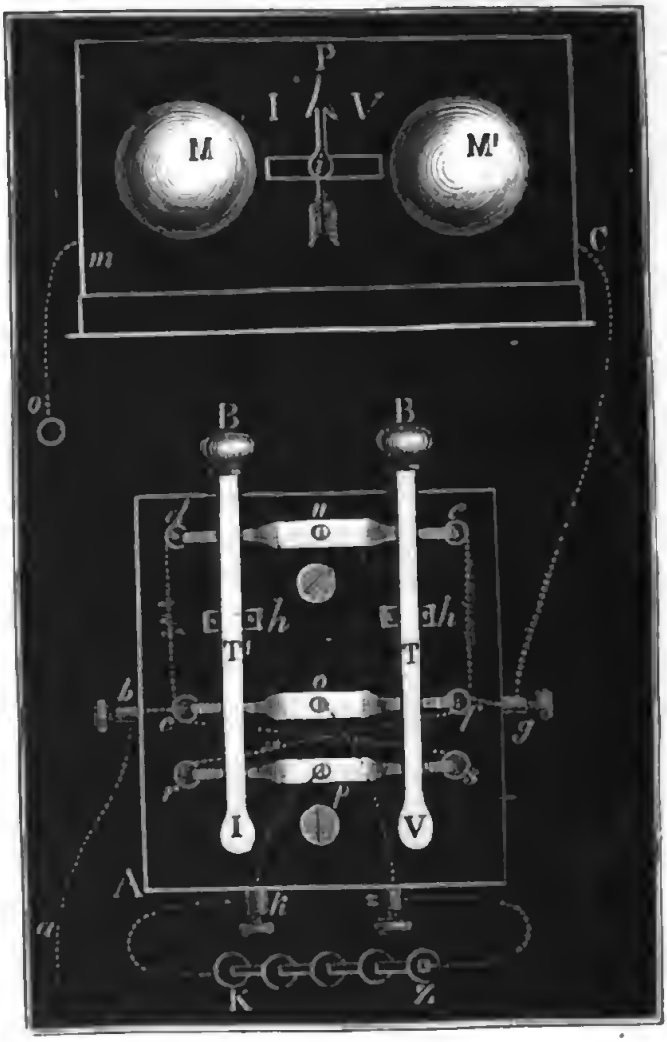


Im Ruhezuſtande, wo für das Ankommen einer Depeſche die Leitung geſchloſſen, die Batterie offen ſein muß, liegen *B B* nieder. Ein von der andern Station kommender Strom tritt bei *o* und *m* in den Apparat, circulirt um die Holzſpulen, tritt bei *C* aus und bei *g* in den Commutator und von hier über *f*, *e*, *d*, *c* und *b* durch *b a* in die Erde, um zu der andern Station zurückzugelangen. Es wird dadurch der Zeiger *P* je nach der Richtung des Stromes auf *I* oder *V* abgelenkt.

Will der Telegraphiſt der entfernten Station das Zeichen *I* geben, ſo drückt er die Taſte *I* nieder; der Strom der Batterie *K Z* nimmt dann

die Richtung durch *Kkprfgcm* zu der Leitung und zu der andern Station, durchläuft dort den Apparat in der vorhin angegebenen Weiſe,

Fig. 192.



kommt durch den Erddraht bei *b* wieder zurück und gelangt über *c*, *o*, *z* zu dem Pole *Z* der Batterie. Ein Niederdrücken der Taſte *V* würde den Strom in entgegengeſetzter Richtung durch die Apparate und die Leitung geführt haben, was ſogleich erſichtlich iſt, wenn man bemerkt, daß dann *n* mit *d* und *c*, *f* mit *o* und *z*, *s* mit *p* und *k* in Verbindung ſteht, während *c* mit *o* und *z*, *r* mit *p* und *k* nicht mehr leitend verbunden iſt.

Die Zeigertelegraphen oder die rotirenden Telegraphen.

Die zweite große Classe von elektrotelegraphischen Vorrichtungen um- 218
faßt diejenigen Apparate, in denen ein Zeiger durch irgend welchen Mechanismus vor einer mit Buchstaben und Ziffern besetzten Scheibe rund läuft und nach der Willkür des entfernt stehenden Telegraphisten vor dem einen oder dem andern dieser Zeichen angehalten werden kann.

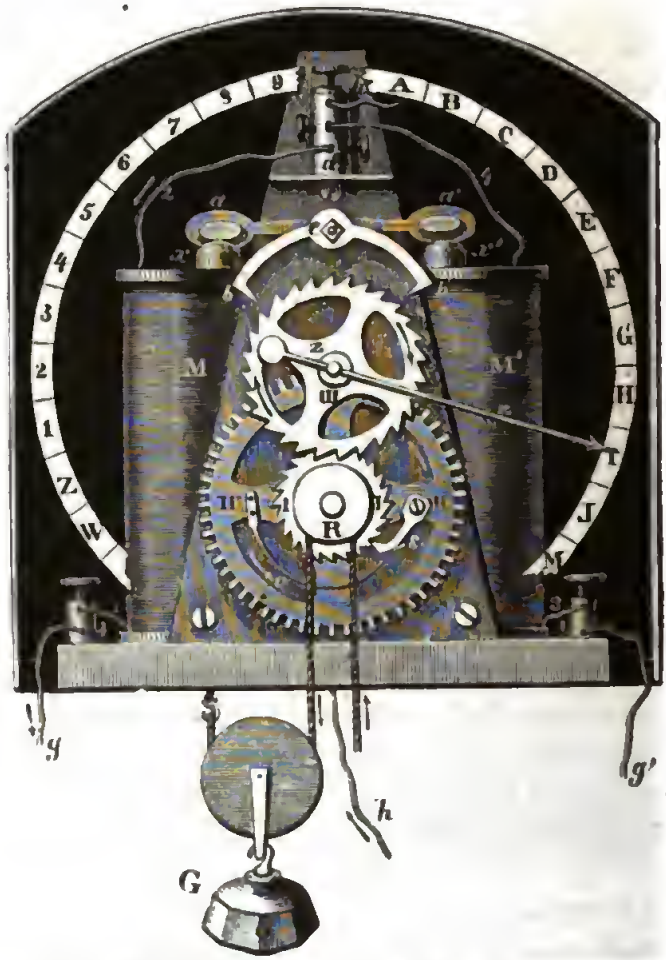
Da zu einer solchen Bewegung des Zeigers ein weit zusammengesetzterer Mechanismus erforderlich ist, als zu der einfachen Ablenkung einer Magnetnadel, und insbesondere die Gleichmäßigkeit des Ganges und die fortdauernde Uebereinstimmung der Zeiger zweier correspondirender Apparate nur durch ganz eigenthümliche Einrichtungen erzielt werden kann, zugleich aber auch gut, d. h. schnell und sicher, arbeitende Zeigertelegraphen gegenwärtig den entschiedensten Vorzug vor allen Nadeltelegraphen verdienen, so wird man begreifen, daß es an den mannichfaltigsten Vorschlägen von neuen, oder an Abänderungen und Verbesserungen von bereits bekannten Zeigersystemen nicht gefehlt hat. Trotz der großen Vollkommenheit der preußischen Zeigerapparate, sind die Bemühungen der ausgezeichnetsten Mechaniker nach dieser Richtung hin gegenwärtig noch nicht zum Abschluß gekommen.

Am 4. Januar 1839 erhielt E. Davy ein Patent auf einen Telegraphen, in dem ein System von Rädern durch ein ablaufendes Gewicht in Bewegung gesetzt, zugleich aber durch ein Echappement oder eine Hemmung regulirt wird. Das Echappement erhält seine Bewegung durch den Anker eines Elektromagneten und vermag die Bewegung des Räderwerkes abwechselnd zu hemmen, und wieder frei zu lassen, je nachdem es sich mit seinen Lippen in die Zähne des Räderwerkes einlegt oder sich daraus hervorzieht. Der übrige Theil des Davy'schen Telegraphen ist ganz unpraktisch; aber die Idee, die elektromagnetische Kraft mit einer Gewicht- oder Federkraft zu verbinden, und die continuirliche Drehung eines Rades vermittelst eines Echappements in eine springende oder absetzende zu verwandeln, war höchst fruchtbar. Ein Jahr später (1840) hatten diese Theile unter den Händen Wheatstone's in einem ganz neuen Signal-Apparate diejenigen praktischen Abänderungen erhalten, durch welche die elektromagnetische Telegraphie einer neuen Entwickelungsperiode entgegengeführt wurde.

Ein Wheatstone'scher Zeigerapparat mit seinen Haupttheilen, dem Communicator oder dem Zeichengeber und dem Indicator oder dem Zeichenbringer ohne Gewichtwerk, ist bereits in dem

Lehrbuch der Phyſik, 3. Aufl. II. S. 218 beſchrieben. Wheatſtone ſelbſt übertrug die Bewegung des Indicators einem Laufwerke, welches, wenn es frei geweſen wäre, den Zeiger vor der Signalſcheibe mit beſchleunigter Geſchwindigkeit herumgetrieben haben würde, aber in ſeinem Laufe durch ein Echappement bald arretirt, bald freigelaſſen wurde, und dadurch den Zeiger ſprung- oder ruckweiſe von einem Buchſtaben auf den andern fortſchreiten ließ. Die Fig. 193 zeigt eine ſolche ſchon ver-

Fig. 193.



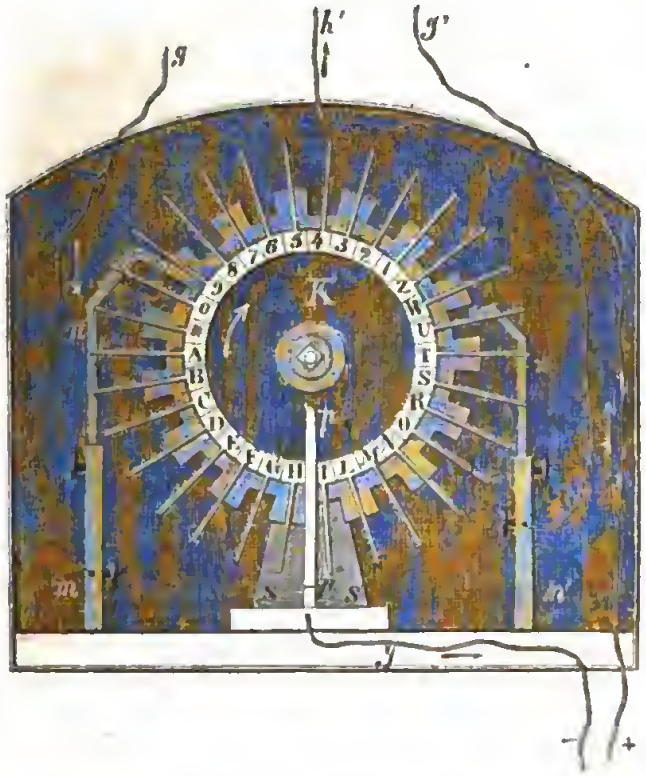
beſſerte Indicator-Vorrichtung. Das Gewicht G, deſſen Schnur über die mit dem Sperrrade I verbundene Rolle R geſchlungen iſt, ſetzt die Räder II und III in Bewegung. Die Axe des letzten Rades geht nach der Vorderſeite des Apparates durch denſelben hindurch und trägt hier den Zeiger $z\,z'$, welcher an dem auf dem Zifferblatte eingegrabenen Buchſtaben und Ziffern vorbeiläuft.

Die Elektromagnete M, M' wirken abwechſelnd mit ihren Polen x, x' auf den mit dem Echappement $b\,b'$ verbundenen zweiarmigen Hebel $a\,a'$.

so daß, wenn a von x angezogen ist, der Haken b in den Zähnen des Rades *III* einliegt, b' aber dieses Rad frei läßt. Die Enden 1, 3 der Umwindungsdrähte der Elektromagnete M, M' stehen durch Klemmen mit den zwei Leitungsdrähten g, g', die beiden anderen Enden 2, 4 aber durch das Messingsäulchen d mit einem dritten Leitungsdrahte h in Verbindung.

Der Communicator Fig. 194 hat den Zweck, den Strom abwechselnd bald durch den Draht g um den Elektromagneten M (Fig. 193),

Fig. 194.

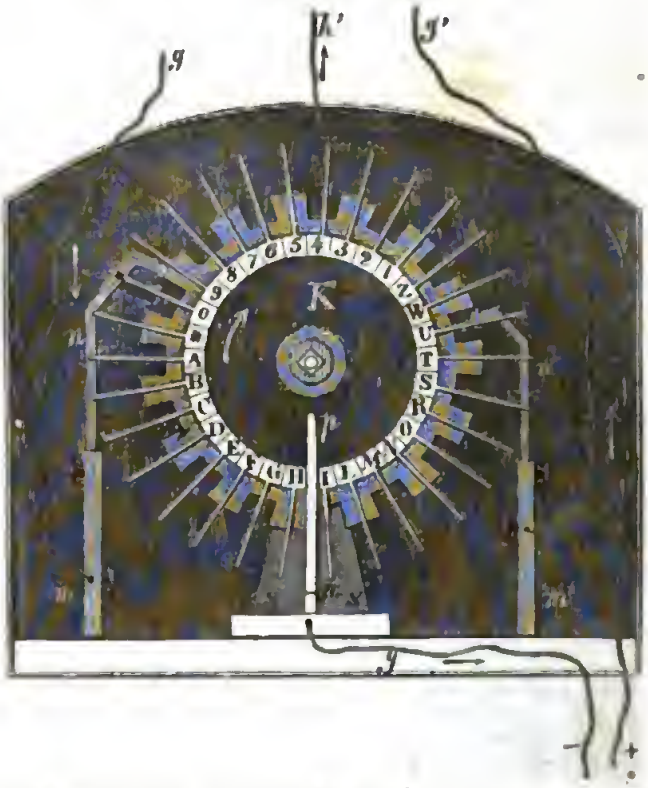


bald durch g' um M' zu leiten. Er besteht aus einer Messingscheibe K, deren Rand in regelmäßiger Folge halb so viele Ausschnitte enthält, als Zeichen auf der Indicatorscheibe vorhanden sind. n, n' sind zwei Messingfedern, deren Enden bei der Drehung der Scheibe K abwechselnd über die Oberflächen der Randvorsprünge und der Einschnitte leicht federnd hinweggleiten. Sie stehen mit den zwei Leitungsdrähten g, g' (Fig. 193) in Verbindung, während der messingene Ständer SS, auf dem die Axe der Scheibe ruht, durch einen Draht y mit dem — Pole der Batterie verbunden ist; der + Pol derselben steht mit dem dritten Leitungsdraht h in Verbindung.

Die Wirkungsweise eines solchen Zeigerapparats ist leicht zu übersehen. In der Ruhelage steht im Indicator (Fig. 193) der Zeiger $z\,z$ auf dem

Zeichen * zwiſchen 0 und *A*; im Communicator (Fig. 195) ſteht dem entſprechend die Speiche * an dem Markirſtäbchen *p p*. In dieſer Stel-

Fig. 195.



lung ſteht die Feder *n' m'* mit der Scheibe *K* und dem — Pole in Verbindung. Der Strom circulirt alſo von + Pol durch *h* nach der andern Station (Fig. 193), tritt bei *d* ein und vollendet ſeinen Kreislauf in der Richtung 4, *M'*, 3, *g'*, *m' n'* (Fig. 195), *K*, *SS*, *y*, — Pol. — Unter dem Einfluſſe von *M'* iſt daher *a'* von *x'* angezogen und *b'* liegt zwiſchen den Zähnen des Rades *III*. Das Uhrwerk iſt alſo arretirt.

Stellt der entfernte Telegraphiſt, die Scheibe *K* links drehend, den Buchſtaben *A* an die Marke *p p*, ſo verläßt *m' n'* den Scheibenumfang und *m n* tritt mit ihm in Berührung; daher nimmt nun der Strom nicht mehr den Weg um *M'* des Indicators, ſondern um *M*, indem er in der Richtung + Pol, *h*, *d* 2, *M*, 1, *g*, *m n* (Fig. 195), *K*, *SS*, *y*, — Pol ſeinen Kreislauf vollendet. Es wird daher *a* von *x* angezogen, das Rad *III* wird unter der Einwirkung des Gewichtes *G* ſo lange frei, bis der Zeiger *z z* auf das nächſte Feld *A* gerückt iſt, wo dann der Haken *b* die Zähne des Rades *III* erreicht hat und daſſelbe ſo lange ſtill hält, bis durch abermaliges Drehen des Communicators *K* die Richtung des Stromes wieder abgeändert und dadurch ein neues Fortrücken des Rades *III* und des Zeigers *z* möglich gemacht wird.

Es ist leicht einzusehen, daß in der Wirklichkeit der Leitungsdraht *h h'* durch Anwendung von Erdplatten unter Benutzung der Leitkraft der Erde ganz in Wegfall kommt; auch wird jetzt in der Praxis einer der Elektromagnete, z. B. *M'*, im Indicator durch eine auf den Arm *a'* wirkende Spiralfeder ersetzt, wodurch der zweite Draht *g'* wegfällt und der Telegraph zu seiner Bewegung nur eine einzige Drahtleitung erfordert. Gleichwohl war derselbe in dieser Einrichtung noch weit von demjenigen Grade der Vollendung entfernt, welcher ein schnelles und sicheres Arbeiten garantirt. So lange die Bewegung des Commutators oder des Speichenrades der menschlichen Hand überlassen blieb, war der Gang des Indicators oder des Zeigers vielen Unregelmäßigkeiten unterworfen; bald drehte der Telegraphist das Rad zu schnell, so daß der Zeiger nicht folgen konnte und die Depesche in Unordnung gerieth, oder zu langsam, so daß an Geschwindigkeit verloren ging.

Die nächsten Verbesserungen waren daher darauf gerichtet, den zeichengebenden Theil des Apparates der menschlichen Hand zu entziehen und die Bewegung desselben einem Uhrwerke zu übertragen. So entstanden die Zeigerapparate mit Communicator-Laufwerk (der Indicator konnte dabei ebenfalls ein Laufwerk haben oder auch nicht), unter denen der von Dresch er erfundene und in seinem Schriftchen »die elektrische Telegraphie,« Kassel 1848. (Schellen's Tel. S. 143 f. f.) beschriebene, eine praktische Anwendung gefunden hat. Das Princip desselben besteht darin, daß ein Uhrwerk eine Scheibe, deren Rand abwechselnd Einschnitte und Hervorragungen hat, in regelmäßiger Bewegung rundbreht, dadurch den Strom in regelmäßiger Folge herstellt und unterbricht, also im Indicator den Anker eines Elektromagneten bald zum Anziehen bald zum Abfallen bringt, und so vermittelst einer Ankerhemmung (wie in Fig. 192) oder eines Stiftenrades und einer Gabel den Buchstabenzeiger vor der Signalscheibe ruckweise rundtreibt. Die bewegte Scheibe kann durch Eindrücken von Knöpfen oder Tasten ganz nach der Willkür des arbeitenden Telegraphisten in Stillstand gesetzt, und dadurch gleichzeitig der Zeiger vor jedem beliebigen Buchstaben angehalten werden.

In dem gegenwärtig auf Eisenbahnen und auf kleineren Staatslinien in Preußen vielfach angewandten und sehr brauchbaren Zeigerapparate von Dr. Kramer (ausführlich in Schellen's Telegraph u. s. w. S. 185.) ist endlich die Communicatorscheibe ganz weggelassen und der ganze Mechanismus ist unter Beibehaltung eines Uhrwerkes auf eine große Einfachheit reducirt. Sein rascher und sicherer Gang, seine leichte Handhabung und die Einfachheit seines Mechanismus, machen ihn besonders für Eisenbahnlinien sehr brauchbar.

219 **Der Zeigerapparat von Siemens und Halske.** Die sinnreichsten und zugleich praktisch brauchbarsten Zeigerapparate sind gegenwärtig ohne Zweifel die von dem preuß. Ingenieur W. Siemens und dem Mechanikus M. J. Halske aus Berlin construirten und auf allen größeren Linien des preußischen Staates so wie in Braunschweig und in Belgien arbeitenden Vorrichtungen. Ohne Beihülfe eines Uhrwerkes durch die bloße Einwirkung eines galv. Stromes auf Elektromagnete setzt der Apparat einen Wecker und einen Zeiger in Bewegung, mit einer Sicherheit und einer Geschwindigkeit, die von den anderen durch Uhrwerke getriebenen Vorrichtungen nicht übertroffen wird.

Sowohl der Zeigerapparat als auch die Läutevorrichtung beruht auf dem bekannten Neef'schen Princip der Selbstunterbrechung des Stromes; das große Verdienst der genannten Erfinder besteht daher in der Art und Weise, wie sie dieses Princip zum sichern Betriebe eines Telegraphen angewandt haben.

Der Mechanismus jener beiden Theile, Fig. 196, ist innerhalb einer über der Deckplatte eines viereckigen Kästchens hervortretenden runden Messingkapsel *CCC* eingeschlossen, die bloß die Axe des Zeigers hindurchläßt. An ihrem Rande stehen rings herum die kreisförmig gestellten telegraphischen Zeichen (Buchstaben und Ziffern), an denen der Zeiger *z* bei seiner Bewegung der Reihe nach vorbeiläuft, wie es aus der Fig. 199 ersichtlich ist.

Die zum Betriebe erforderlichen zwei Elektromagnete befinden sich nebst den, in der Figur punktirt gezeichneten, Verbindungsdrähten unterhalb der Deckplatte in dem eigentlichen Raum des Kastens. Auf der Deckplatte sieht man noch das Galvanometer *G'*, den Schieber *S'*, die Contactfedern *R* (Ruhe), *T* (Telegraphiren) und die Drahtklemmen *Z* (Zinkpol), *K* (Kupferpol), *E* (Erddraht), *L* (Leitungsdraht).

Der Weckerapparat ist der einfachere Theil des Ganzen und besteht aus den in der Figur rechts vor dem Haken *h* liegenden Theilen und der Glocke *G*.

NN sind die beiden Pole eines Elektromagneten; seine Schenkel befinden sich unterhalb des Deckels und stehen senkrecht gegen denselben; seine Pole gehen durch den Deckel hindurch und sind mit Kappen oder Schuhen besetzt, die sich dem hervortretenden Eisenkern an der einen Seite rund anschließen, an der andern Seite aber in ebene Platten auslaufen, mit welchen sie auf die ebenfalls plattenförmig gestellten und durch ein S förmig gebogenes Eisenstück verbundenen zwei Anker *B* anziehend einwirken. Die Drehungsaxe dieses Ankers trägt zwei Führungsarme *i* und *f*, welche beide zugleich mit dem Anker hin- und hergehen. Der letztere *f* schlägt bei seiner Bewegung mit seinem klöppelförmig gestalteten Ende gegen die Glocke *G*, der erstere *i* aber liegt zwischen den zwei Schenkeln

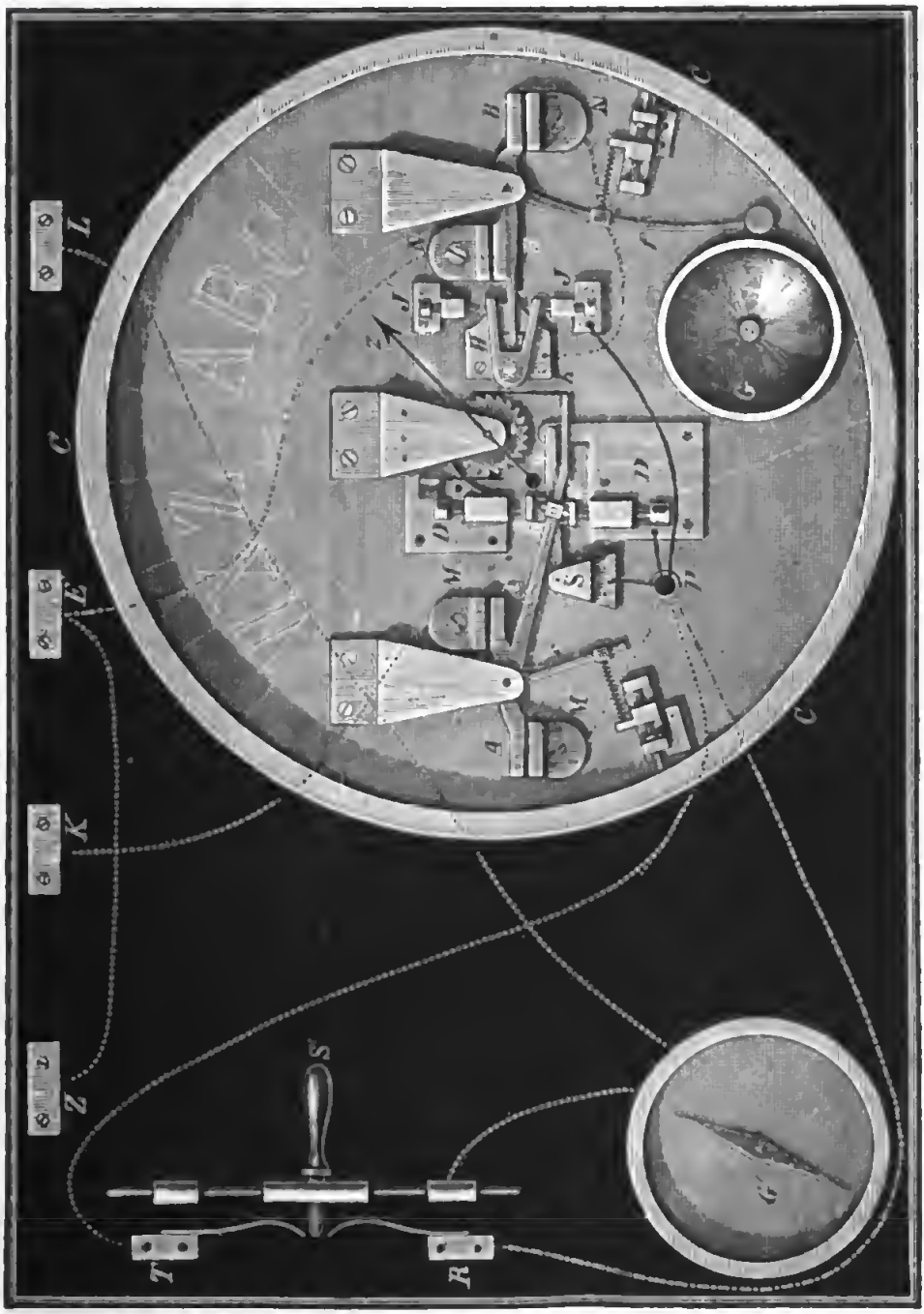


Fig 196

einer Meſſinggabel, welche ſich um einen auf dem Fuße *H* ſtehenden Metallzapfen mit einiger Reibung hin- und herbewegen läßt. Zwei metallene Schraubenſpitzen *I*, *I'* ſchränken dieſe Bewegung in eine Gränze ein, die der Bewegungsgröße des Ankers genau entſpricht, und daher durch Verſtellen der Schrauben vor dem Gebrauche des Apparats genau regulirt werden muß. Im Ruhezuſtande, wo, wie die Figur zeigt, die Anker *B* von *NN* nicht angezogen ſind, muß die Gabel eine ſolche Stellung haben, daß der untere oder vordere Schenkel durch den Arm *i* gegen die Schraubenſpitze *I* leicht angedrückt wird. Der Arm *i* trägt an ſeinem Ende beiderſeits eine Elfenbeinſpitze, damit ſein Metallkörper mit der Gabel nicht in Berührung komme.

Die Enden des den Elektromagnet bildenden Umwindungsdrahtes gehen unterhalb der Deckplatte einerſeits an die Drahtklemme *E*, andererſeits nach dem Fußgeſtelle *H*, während ein anderer, dem Wecker ebenfalls angehöriger Draht, von dem Geſtelle *I* aus durch die Oeffnung *P* unter die Deckplatte tritt und hier an der Klemme und der Contactfeder *R* feſtgeſchraubt iſt.

Man denke ſich jetzt den poſitiven Pol einer Batterie mit *Z*, den negativen mit *R* verbunden. In dem Augenblick, wo die Batterie geſchloſſen wird, geht dann ein Strom von *Z* über *E* nach dem Elektromagneten *NN* und von deſſen Umwindungsdraht nach dem Ständer *H* und deſſen Gabel. Da dieſe gegen die Schraube *I* anliegt, ſo gelangt der Strom durch die Gabel über *I* nach *R* und dem negativen Pole. Der Anker *B* wird alſo angezogen und der Arm *i* verläßt den vordern Schenkel der Gabel. Dieſe ſelbſt aber bleibt gegen die Schraube *I* anliegend und unterhält alſo den Strom, während der anziehenden Wirkung von *NN* gegen *B* ſo lange, bis *B* in die unmittelbarſte Nähe von *NN* gekommen iſt. In dieſem Augenblick aber hat der Arm *i* den hintern Schenkel der Gabel erreicht; er ſchlägt gegen ihn an und dreht die ganze Gabel nach *I'* hin; dadurch verläßt der vordere Schenkel die Schraube *I*, und es entſteht nun zwiſchen dieſen beiden Theilen eine Unterbrechung, wie ſie früher zwiſchen der Gabel und *I'* beſtand. Eben dadurch iſt für den Strom die Brücke, über welche er von *H* nach *I* gelangen konnte, aufgehoben, er kann nicht mehr circuliren und iſt unterbrochen. Der Elektromagnet *NN* läßt ſeinen Anker *B* fahren und dieſer wird nebſt dem Arm *i* von einer Spiralfeder, die hier auf den Klöppel *f* einwirkt, vollends in die vorige Lage zurückgezogen. In dem Augenblick aber, wo der Anker in dieſe alte Lage zurückgekehrt iſt, hat auch der Arm *i* durch Anſchlagen an den vordern Schenkel die Gabel wieder nach *I* verlegt und dadurch die Brücke für die Circulation des Stromes wieder hergeſtellt. — *NN* wirkt nun abermals anziehend auf *B* und es wiederholt ſich auf dieſe Weiſe dieſe eben beſchrie-

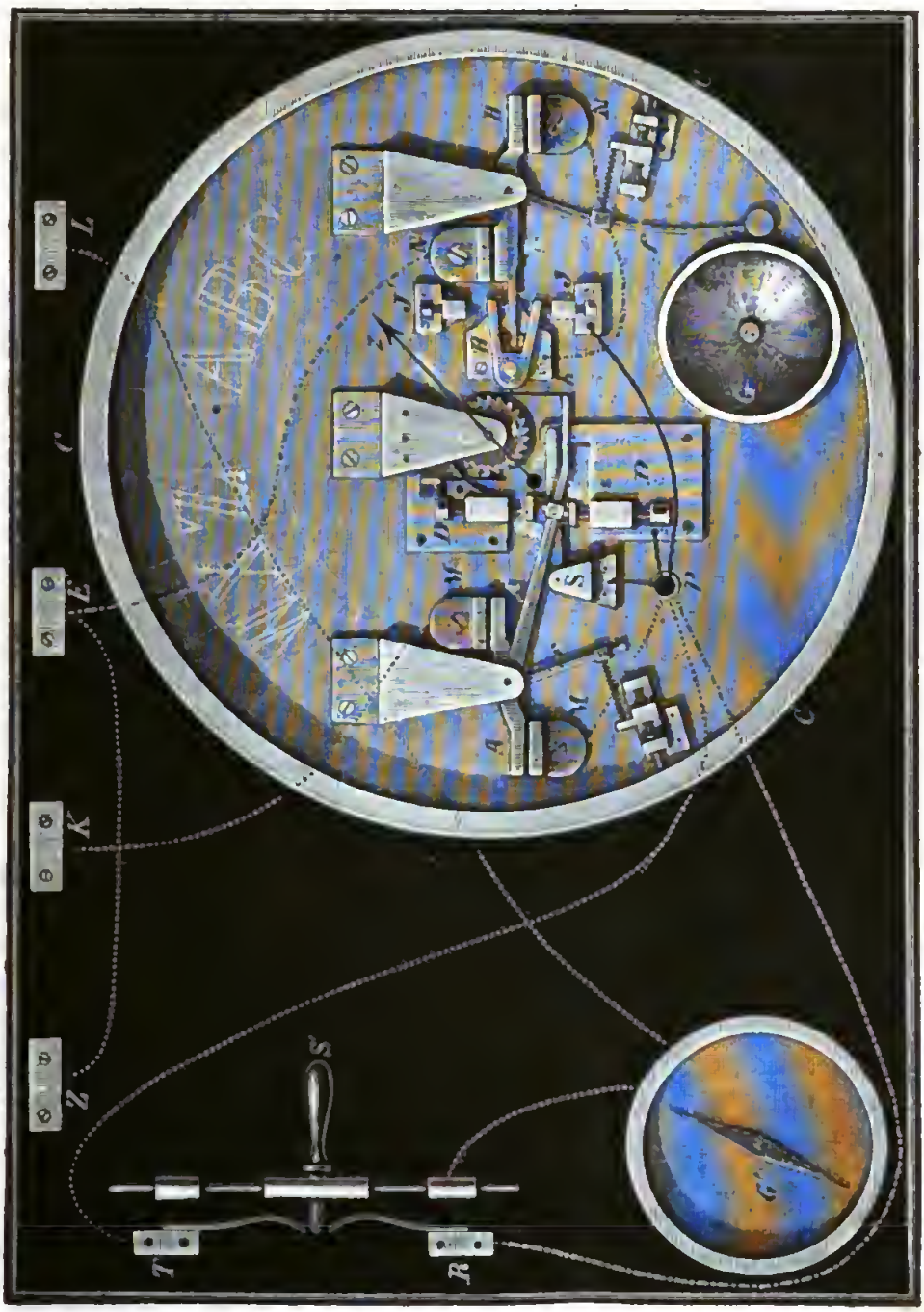


Fig. 197.

bene Bewegung sämmtlicher Theile so lange, als die Batteriepole mit *R* und *Z* in Verbindung bleiben.

Bei der hin- und hergehenden Bewegung des Arms *f* schlägt sein Klöppel fortwährend gegen die Glocke *G*; die Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes erfolgt hierbei durch den Apparat selbst, woher sein Name Wecker mit Selbstunterbrechung.

Der Mechanismus des Zeigerapparates umfaßt die links von dem Haken *h* liegenden Theile: *MM* sind wieder die Pole eines ganz in der oben beschriebenen Weise construirten und aufgestellten Elektromagneten; *AA'* sein plattenförmig gestalteter Anker, dessen Drehungsaxe auch hier einen Arm *oh* trägt, an dessen Ende *h* ein Haken befestigt ist. Dieser greift in die Zähne eines kleinen Stahlrädchens *r* ein, welches nur nach einer einzigen Richtung drehbar ist, indem ein an der linken Seite des Rädchens auf dem Fuße *D* befestigter Sperrhaken die Bewegung nach der entgegengesetzten Richtung verhindert. So oft der Arm *oh* sich nach hinten (in der Richtung von *D'* nach *D*) bewegt, holt sich *h* einen Zahn, und *r* steht still, bei der Bewegung des Arms *oh* nach vorne, zieht der Haken *h* den ergriffenen Zahn mit sich fort. Durch eine anhaltende Bewegung von *oh* wird daher das Rädchen *r* nach und nach ganz herumgedreht; der Zeiger *z*, der außerhalb der Messingkapsel auf der verlängerten Axe dieses Rädchens aufgeschraubt ist, theilt dabei die Bewegung desselben und gelangt so sprungweise von einem Buchstaben zum andern in derselben Richtung, wie sich die Zeiger einer Uhr bewegen. Außerdem ist noch ein Mechanismus vorhanden, wodurch verhütet wird, daß der Haken *h* bei jedem Gange nie mehr als einen einzigen Zahn fassen, und das Rädchen *r* nicht weiter, als um einen einzigen Zahn herumziehen kann.

Von den zwei Enden des den Elektromagneten bildenden, unterhalb der Deckplatte liegenden Umwindungsdrahtes ist das eine bei *K* festgeschraubt, das andere tritt durch die Oeffnung *P* in die Messingkapsel hinein und ist auf dem Messingständer *S* festgeschraubt; ein dritter Draht geht von dem Messinggestelle *D'* und durch eben dieselbe Oeffnung *P* unterhalb der Deckplatte hinweg zu der Drahtklemme *T* und deren Contactfeder.

Die hin- und hergehende Bewegung des Arms *o* wird auch hier durch Selbstunterbrechung des Stromes auf analoge Weise hervorgebracht, wie bei dem Wecker. Zu dem Ende trägt die Messingplatte *S* einen nahe unter dem Arm *o* hinlaufenden Messingstreifen *m*, auf welchem ungefähr in der Mitte eine kleine metallene Brücke *ss'* befestigt ist. Der Streifen *m* nebst seiner Brücke dreht sich um einen am Ende der Platte *S* befestigten Metallzapfen. Bei *s* und *s'* stehen zwei metallene Hervorragungen auf der Brücke, mit welchen diese, bei ihrer hin- und hergehenden Bewegung, bald gegen die Schraubenspitze *D'*, bald gegen *D* anschlägt, und da-

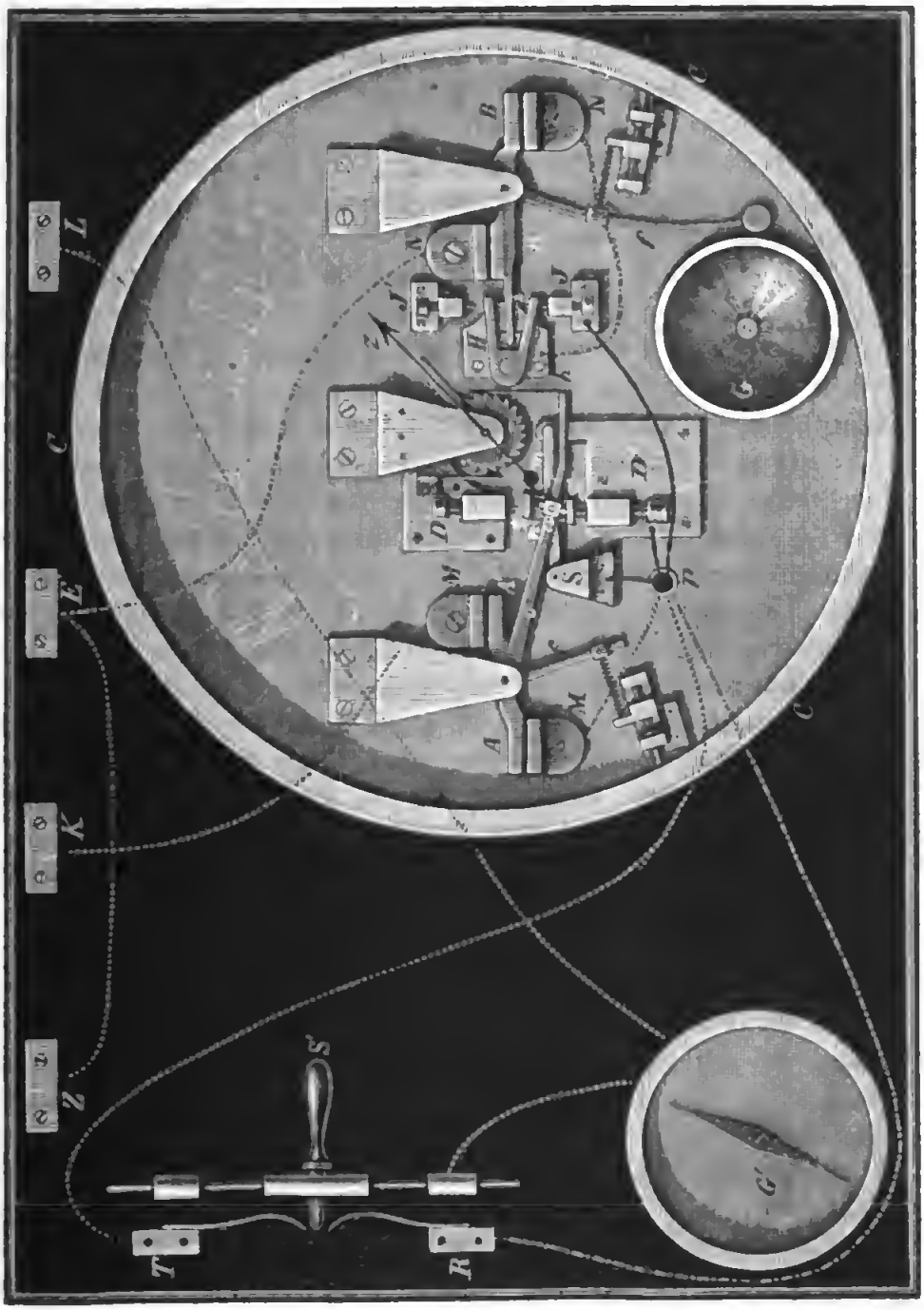


Fig. 198.

durch ſich nur innerhalb einer kleinen, der Bewegungsgröße des Ankers AA' genau entſprechenden und durch Verſuche vor dem Gebrauche des Apparates zu regulirenden Gränze bewegen kann.

Es zeigt ſich nun bald, daß eine Circulation des Stromes um MM nur dann ſtattfinden kann, wenn s' mit D' in Berührung ſteht, nicht aber, wenn s an D anliegt oder wenn zwiſchen s' und D' eine Unterbrechung vorhanden iſt, wonach alſo eine hin- und hergehende Bewegung der Brücke ss' zwiſchen den Schrauben D, D' eine abwechſelnde Unterbrechung und Wiederherſtellung des Stromes zur Folge haben muß.

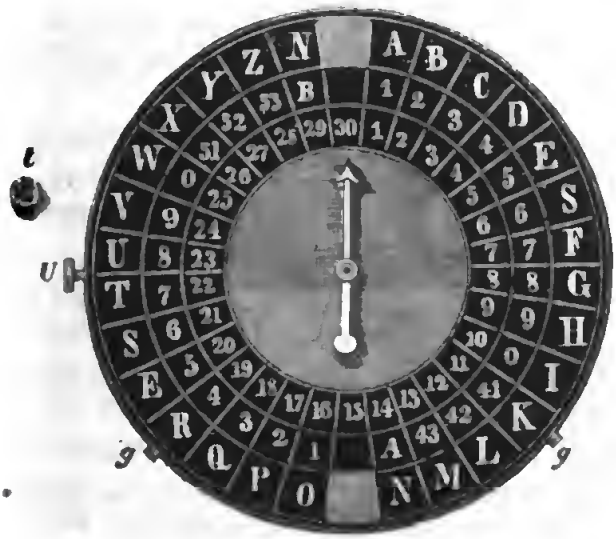
Im Ruheſtande des Apparates, wo die Batterie offen, alſo der Anker AA' nicht angezogen iſt und durch eine Spiralfeder f von MM entfernt gehalten wird, drückt das Querſtäbchen n die Brücke s' gegen die Schraube D'. Wird in dieſem Zuſtande ein Strom bei T eingeleitet, ſo kann er in der Richtung T, D', s', m, S, MM, K u. ſ. w. um den Elektromagneten MM circuliren; der Anker AA' wird angezogen, n verläßt s' ohne die Brücke ss' ſelbſt zu verlegen, alſo auch ohne den Strom ſchon jetzt zu unterbrechen, und der Haken h geht nach hinten, um einen Zahn des Rädchens r zu erfaſſen; dieſes ſelbſt aber und ſein Zeiger z ſtehen ſtille. Der Strom dauert ſo lange, und die anziehende Wirkung gegen AA' nimmt dabei immer zu, bis der Anker ganz in die Nähe von MM gekommen iſt; in dieſem Augenblick hat h ſeinen Zahn gefaßt, und zugleich hat das Querſtück n durch Anſchlagen gegen s die Brücke ss' nach D verlegt, ſo daß nun s mit D in Berührung ſteht, zwiſchen s' aber und D' eine Unterbrechung vorhanden iſt, in Folge deren eine Circulation des Stromes von D' aus über die Brücke ss' nach S zu nicht mehr ſtattfinden kann. Nun läßt MM ſeinen Anker fahren, der ſogleich nebſt ſeinem Arm oh in die Ruhelage zurückgezogen wird. Indem alſo h den ergriffenen Zahn mit ſich nimmt und dadurch den Zeiger z auf den nächſtfolgenden Buchſtaben vorrückt, kommt n wieder mit s' in Berührung, und die Brücke ss' wird in dem Momente, wo h ſeine Ruhelage oder der Zeiger z die Mitte eines Zeichenfeldes erreicht hat, durch Anſchlagen von n gegen s' wieder nach D' verlegt, womit eine abermalige Circulation des Stromes um MM möglich gemacht wird. So wiederholt ſich auch hier die Bewegung der einzelnen Theile, in Folge deren der Zeiger z ſprungweiſe die Zeichenſcheibe durchläuft, ſo lange, als die Batteriepole mit K und T verbunden bleiben oder irgend ein anderes mechaniſches Hinderniß in die Bewegung hemmend eingreift.

Das Letztere geſchieht, wenn der Telegraphiſt während des Telegraphirens den herumeilenden Zeiger z vor irgend einem Buchſtaben anhalten will. Es befindet ſich nämlich auf der Außenſeite der Meſſingkapſel einem jeden Buchſtaben gegenüber eine Taſte. Jede Taſte wirkt auf einen Meſſing-

ſtift, der ſich beim Niederdrücken der Taſte in das Innere der Kapſel hineinſchiebt, beim nachlaſſenden Druck aber nebſt der Taſte durch Federkraft wieder in die Höhe geht. Die Axe des Stahlrädchens *r* trägt unmittelbar unter der Fläche des Rädchens einen Arm, der ſo geſtellt iſt, daß er dem obern Zeiger *z* genau parallel iſt und daher auch bei der Bewegung des Rädchens dem Zeiger *z* ſtets parallel bleibt. Dieſer Arm läuft, wenn keine Taſte niedergedrückt iſt, gerade unterhalb der einſchiebbaren Stifte hindurch und hemmt daher die Bewegung des Rädchens nicht. Wird aber, während der Apparat in Thätigkeit iſt und der Zeiger rund läuft, bei irgend einem Buchſtaben, z. B. *C*, die Taſte niedergedrückt, und dadurch der entſprechende Stift eingeſchoben, ſo dauert die Bewegung des Rädchens *r* und des Zeigers gerade ſo lange an, bis der Arm unterhalb *z* dieſen Stift erreicht hat und angehalten wird; damit ſteht dann ſowohl *z* vor dem Zeichen *C*, als auch *r*, *h o*, überhaupt der ganze Apparat ſo lange ſtille, bis die Taſte *C* wieder freigelaſſen wird und der eingeſchobene Stift in die Höhe geht. Die Stellung der Stifte und des Arretirungsarmes des Rädchens *r* iſt jedoch allemal ſo anzuordnen, daß, wenn der letztere von einem der erſteren angehalten wird, der Haken *h* noch nicht den ganzen Weg bis zu ſeiner Ruhelage zurückgelegt hat, demnach das Querſtück *n* des Armes *o* ſich in der Mitte zwiſchen *s* und *s'* befindet, und jedenfalls die Seite *s'* noch nicht erreicht hat. Wird alſo der Zeiger *z* von irgend einer Taſte angehalten, ſo ſteht *s'* mit *D'* nicht in Berührung und der Strom iſt unterbrochen. Der Grund hierfür wird aus dem Folgenden klar werden.

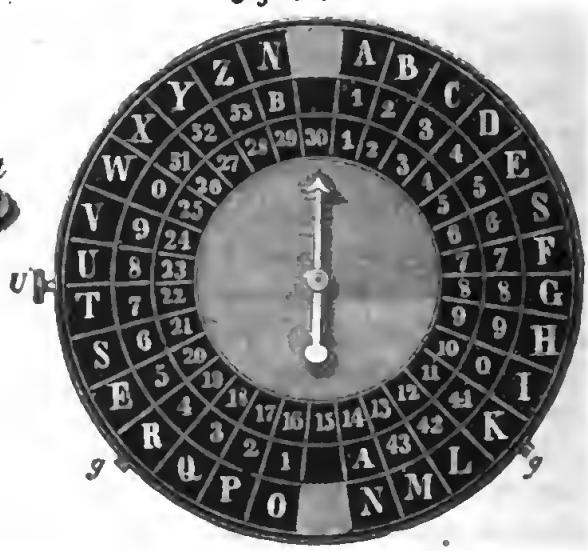
Die Fig. 199 zeigt die Anordnung des Zifferblattes; die Buchſtaben *E*,

Fig. 199.



S. N kommen als die in der deutschen Sprache am häufigsten gebrauchten Zeichen zweimal vor; die Felder 41, 42, 43 — 51, 52, 53 und der

Fig. 200.



innerste Ring beziehen sich auf die geheime Chiffre-Correspondenz; g und g' sind zwei aus der Messingkapsel hervortretende Dornen der auf die Spiralen f, f' (Fig. 198) einwirkenden Schrauben, zu denen die Telegraphisten Schlüssel haben, um durch Anziehen oder Nachlassen der Schrauben die Spannkraft der Federn nach Maßgabe der Stromstärke zu reguliren. U ist ein Knopf, der an einem auf der linken Platte A des Ankers AA' einwirkenden Winkelhebel befestigt ist und vermittelst dessen der Telegraphist bei unterbrochenem Strome den Anker AA', also auch den Arm o und den Zeiger z in Bewegung setzen kann, ohne eines Stromes dabei bedürftig zu sein. Er bedient sich seiner zur Einstellung des Zeigers auf das leere Feld, wenn die Zeiger auf zwei correspondirenden Stationen nicht in Uebereinstimmung sein sollten.

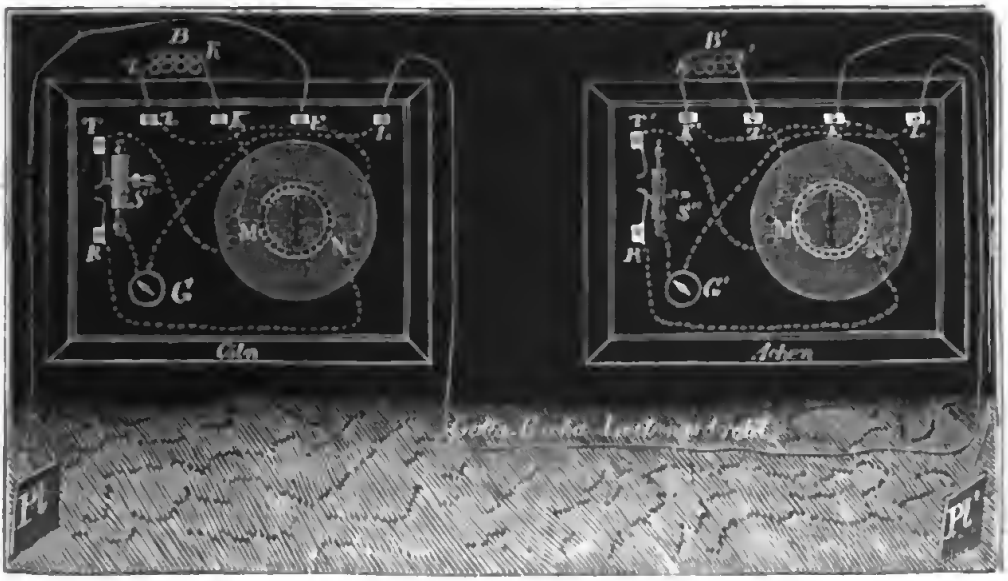
Ueber die Anwendung des Knopfes t s. Schellen's Tel. S. 178. Es bleibt noch übrig, den Zusammenhang zweier mit einander correspondirender Apparate, so wie die Art und Weise des Weckens und des Telegraphirens näher anzugeben.

Die Fig. 201. stellt zwei Apparate dar, von denen der eine in Cöln, der andere in Aachen gedacht werden mag, und in denen die Zeichnung des Mechanismus weggelassen ist; die Buchstaben beziehen sich durchweg auf die Theile der Fig. 198.

Die Anordnung der Apparate ist auf beiden Stationen durchaus dieselbe, mit alleiniger Ausnahme der Polverbindung der Batterie. Auf der einen Station (z. B. Cöln) steht nämlich die Klemme E mit dem Zinkpol Z, auf der andern Station dieselbe Klemme E' mit dem Kupferpol K' in

Verbindung. Bei E, E' sind die zu den Erdplatten $Pl.$, $Pl'.$ führenden Erddrähte, bei L, L' die Enden des Leitungsdrahtes eingeschraubt;

Fig. 201.



Z, Z' sind die Klemmen für die Zinkpole; K, K' für die Kupferpole der Batterie. Der Schieber S' (vergl. Fig. 198) läßt sich an einer Messingstange entlang vorbeischieben, so daß seine metallene Spitze bald mit der Contactfeder T (beim Telegraphiren), bald mit R (in der Ruhe) in Verbindung steht. Für die Stellung des Schiebers zwischen den Federn T und R, wie in Fig. 198, ist kein Strom möglich. Die Drahtenden des Galvanometers G' sind einerseits mit dieser messingenen Schieberstange, andererseits mit der Drahtklemme L verbunden*). In der Ruhelage stehen die beiden Schieber S', S'' auf beiden Stationen auf R. Bei dieser Stellung sind beide Batterien B, B' offen, denn in Aachen findet vom Pole z' aus über Z', M', T' hinaus keine Weiterleitung statt, und eben so trifft man in Cöln vom Pole k aus über K, M, T (im Falle S' auf R steht), offene Kette. In diesem Zustande stehen die Zeiger des Zifferblattes (Figur 199) auf dem leeren Felde.

Das Telegraphiren geschieht nun auf folgende Weise:

Gesetzt, Cöln will eine Depesche abgeben: Cöln rückt zuerst S' auf T und bringt dadurch die Cölner Batterie B in die Leitung; ihr

*) In der Wirklichkeit befindet sich zwischen G' und L noch eine Vorrichtung, die nur beim Directsprechen, wovon weiter unten, in Anwendung kommt; für die gewöhnliche Correspondenz ist sie überflüssig.

Strom nimmt die Richtung vom *k* Pol aus über *K, M, T, S', G, L,* Leitung *L', G', S'', R', N', E', Pl'.*, Erde, *Pl., E, Z, z* Pol. Ein näheres Verfolgen zeigt leicht, daß ein anderer Weg des Stromes oder eine Abzweigung desselben nicht möglich ist. Unter dem Einflusse des Stromes befinden sich nun:

a) der Wecker *N'* der Aachener Station, und

b) der Zeigermagnet *M* der Cölner Station.

Nun ist aber mit Rücksicht hierauf die Feder (Fig. 198) des Weckermagneten viel schwächer angespannt als die Feder des Zeigermagneten, so daß durch die Stromkraft der einen Batterie *B* der Weckermagnet seine Feder früher überwinden kann, als der Zeigermagnet die seinige. Indem aber *NN* seinen Anker *B* früher anzieht, als *MM* den seinigen (*AA*) und sofort durch die Anziehung von *B* und die Bewegung von *i* der Strom sich unterbricht, so kann der Zeigermagnet *MM* überhaupt nicht zum Anziehen seines Ankers kommen. Der Aachener Wecker ertönt daher, ohne daß der Zeiger in Cöln sich bewegt, obgleich sein Elektromagnet dem Strome ausgesetzt ist.

Der Aachener Telegraphist, durch das Ertönen seiner Glocke aufmerksam gemacht, stellt sofort seinen Schieber *S''* auf *T'*, und nun befinden sich die Batterien *B, B'*, so wie die Zeigermagnete *M, M'* beider Stationen in der Leitung. Die Richtung des Stromes ist dabei, wenn man von *B* ausgeht, folgende:

k Pol *K, M, T, S', G, L,* Leitung, *L', G', S'', T', M', Z', z' B' k', K', E', Pl'.*, Erde, *Pl., E, Z, z* Pol.

Demnach befinden sich die Zeigerapparate *M, M'* beider Stationen unter dem Einflusse eines mit den beiden Batterien *B, B'* erzeugten Stromes, der nun hinreichend stark ist, die Anker *A, A'* (Fig. 198), deren Federn gleich stark angespannt sind, zum Anklappen und die Zeiger auf der Zeichenscheibe zum Rundlauf zu bringen.

Sobald eine der beiden Stationen (Cöln) eine Taste niederdrückt, so hält der Zeiger auf dieser Station an dem dadurch eingeschobenen Stifte an, und der Strom ist zugleich, wie in dem Obigen erklärt wurde, unterbrochen. Da also kein Strom mehr vorhanden ist, muß auch der Zeiger der Aachener Station einen Moment nach dem Stillstande des Cölner Zeigers stille stehen.

Will die empfangende Station (Aachen) die arbeitende (Cöln) unterbrechen, so braucht sie nur eine ihrer Tasten, in der Regel die weiße unten oder oben (Fig. 199) niederzudrücken. Durch das Stillhalten der Zeiger erkennt dann die arbeitende Station sofort, daß eine Zwischenfrage gemacht werden soll.

Läßt nun die empfangende Station die niedergedrückte Taste wieder frei,

so setzen beide Zeiger ihren Lauf wieder fort und es verwandelt sich die empfangende Station in eine arbeitende. — Nach Beendigung einer Mittheilung giebt die arbeitende Station das Zeichen *OEO* (Ende) und hierauf *ORO* (Ruhestellung), worauf jede Station ihren Schieber S, S'' wieder auf R, R' herabrückt und dadurch den Apparat in den Ruhestand zurückversetzt.

Eine größere Telegraphenlinie, z. B. von Berlin nach Verviers, auf der belgischen Gränze, zerfällt in der Regel in mehrere Sectionen, die für sich wieder besondere kleinere Linien (z. B. Hamm — Düsseldorf, Düsseldorf — Deutz u. s. w.) bilden, so daß die ganze Linie aus zwei Endstationen und mehreren Zwischen- oder Durchgangsstationen besteht. Für die genannte Linie sind Potsdam, Magdeburg, Oschersleben, Braunschweig, Hannover, Minden, Hamm, Düsseldorf, Deutz, Cöln, Aachen, Zwischenstationen, während die Endstationen Berlin und Verviers sind.

Jede Zwischenstation hat demnach zwei Zeigerapparate, von denen der eine nur mit der vorhergehenden, der andere nur mit der nachfolgenden Station correspondiren kann; nur die Endstationen enthalten einen einzigen Apparat. Für viele Fälle ist es indeß wünschenswerth, daß einige oder beliebig viele Zwischenstationen aus der Leitung können ausgeschaltet werden und jede Station nicht bloß mit der benachbarten, sondern mit jeder anderen Station derselben Linie direct correspondiren kann, insbesondere daß die Endstationen in eine directe Verbindung treten können, ohne daß die Mittheilungen den Weg durch die Apparate der Zwischenstationen hindurch zu nehmen nöthig haben. — Zu diesem Behufe befinden sich auf allen Zwischenstationen sogenannte Ausschalter in Verbindung mit einem Wecker, wodurch es nicht nur ermöglicht wird, daß jede Station unter Umgehung aller Zwischenstationen mit jeder anderen Station direct verkehren kann, sondern auch, daß nach Beendigung der directen Correspondenz den ausgeschalteten Zwischenstationen auf dem Wecker das Signal gegeben wird, daß sie sich wieder in die Leitung einzuschalten haben. Diese Vorrichtungen des Ausschalters und des Weckers und die ganze Art und Weise ihres Zusammenhanges mit den Zeigerapparaten sind nicht minder bewundernswürdig, als der Telegraph selbst; sie gewinnen aber ihr höchstes Interesse durch ihre Verbindung mit dem Morse'schen Drucktelegraphen, wodurch erreicht wird, daß unter Benutzung eines einzigen Leitungsdrahtes bald direct zwischen den Endstationen mit dem Morse'schen Drucktelegraphen, bald direct zwischen zwei beliebigen Stationen mit dem Siemens'schen Zeigerapparate, bald auch stationsweise zwischen zwei benachbarten Stationen mit dem letzten Apparate, je nachdem das Bedürfniß es erheischt, gearbeitet werden kann (Schellen's Telegr. S. 167 — 180, S. 197 — 202, S. 242 — 251).

Eine besondere Erwähnung verdienen endlich noch die seit einigen Jahren 220

auf mehreren Eisenbahnlinien Sachsens und Baierns eingeführten Zeigerapparate von E. Stöhrer. Was diese Telegraphen besonders auszeichnet, ist der Umstand, daß zu ihrem Betriebe keine hydrogalvanische Batterie, sondern eine magneto-elektrische Rotationsmaschine angewandt wird. Letztere erhält ihre Umdrehung durch ein Uhrwerk, und der regelmäßige Wechsel in der Richtung des erzeugten Inductionsstromes ist von einem regelmäßigen Polwechsel des auf den Zeiger wirkenden Elektromagneten begleitet. Zwischen diesen Polen liegt ein permanenter Stahlmagnet, der durch den Polwechsel des Elektromagneten in eine hin- und hergehende Bewegung versetzt wird und diese Bewegung auf ein stählernes Echappement überträgt, das seinerseits wieder in ein Steigrad von Neusilber eingreift. Auf der Welle des Steigrades, das 18 Zähne hat, sitzt der Zeiger, der sich demnach über die 36 Felder der Buchstabenscheibe bewegt.

Das Telegraphiren geschieht hierbei nicht durch Niederdrücken von Tasten, sondern durch Verstellen eines Führungsarmes nach rechts oder links auf dem zu signalisirenden Buchstaben. Der Zeiger hält dann in seinem Laufe genau diesem Buchstaben gegenüber an.

Die Stöhrer'schen Apparate arbeiten mit einer befriedigenden Geschwindigkeit und vollständigen Sicherheit; aber weil ihre Tragweite wegen der verhältnißmäßig geringen Intensität des Inductionsstromes nicht sehr bedeutend ist, so eignen sie sich bei der gegenwärtigen Construction der magnetoelektrischen Maschinen nur für die in der Regel kürzeren Eisenbahnlinien.

Die Drucktelegraphen.

221 Es wurde schon oben bemerkt, daß der erste Drucktelegraph im Jahre 1837 von Steinheil construirt worden ist. Seit jener Zeit hat es an den mannichfaltigsten Versuchen zur Ausbildung dieses Zweiges der Telegraphie nicht gefehlt. Besonders haben Bain, Wheatstone, Vail, Morse, und in der neuesten Zeit wiederholt Bain, so wie Brett, Stöhrer, Dr. Kramer, insbesondere aber Siemens und Halske*) typotelegraphische Vorrichtungen in einer solchen Vollendung zu Stande gebracht, daß die damit angestellten Probearbeiten ganz befriedigende Resultate gewährten. Gleichwohl haben diese Apparate, mit Ausnahme des Morse'schen und der diesen ganz verwandten Stöhrer'schen, in der Praxis noch keine Anwendung finden können, und eine detaillirte Beschreibung wird daher in dem Folgenden auch nur den gegenwärtig, allerdings in dem größten Maßstabe zur Anwendung kommenden Morse'schen Vorrichtungen oder dem Amerikanischen Systeme zu Theil werden.

*) Der Druckapparat von Siemens ist seiner größten Vollkommenheit nahe; er druckt die Depeschen in sehr scharfem Typendruck mit gewöhnlichen Lettern.

Der wesentlichste Theil von Steinheil's Druckapparat ist in Fi- 222
gur 202 abgebildet. ab stellt den horizontalen Durchschnitt eines Multiplicators dar, an welchem der mittlere Drahtverlauf weggelassen ist, um einen Blick in die Höhlung der Windungen zu gestatten. Innerhalb dieser letzteren befinden sich die um die Axen m, m' drehbaren Magnetstäbchen $ns, n's'$, deren benachbarte Enden s, n' leichte, mit capillaren Spitzen versehene und mit einem schwarzen Pigmente gefüllte Schreibgefäßchen c, c' tragen. Zwei Stifte h, h', welche den äußersten Polen n, s' der Magnete gegenüber stehen, verhindern das Ausschlagen derselben nach dieser Seite hin, und demnach kann jeder Magnet mit seinem inneren Ende (s oder n') und seinem Schreibgefäßchen nur nach einer einzigen Seite hin ausschlagen.

Fig. 202.

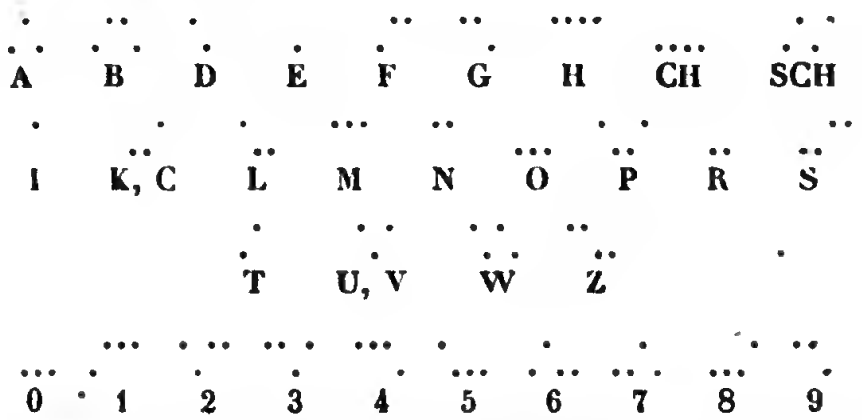
Wenn nun ein Strom von bestimmter Richtung die Nadeln so afficirt, daß ihre Nordpole nach der Rechten ausschwingen wollen, so wird die Nadel ns, durch h aufgehalten, in Ruhe bleiben, während $n's'$ so ausschwingt, daß c' sich nach der Rechten bewegt. Ein entgegengesetzt gerichteter Strom bringt die entgegengesetzte Bewegung hervor; es bleibt nämlich $n's'$, durch h' aufgehalten, in Ruhe, während ns so abgelenkt wird, daß das Dintengefäß c nach der Rechten ausschlägt. Zur Hervorbringung dieser zweifachen Ablenkungen ist also nur die jedesmalige Umkehrung des Stromes erforderlich und Steinheil bringt dieselbe durch Umlegen des Inductors einer Clarke'schen Rotationsmaschine nach der einen oder anderen Richtung hervor.

Um diese Ablenkungen, durch deren Gruppirung die Buchstaben dargestellt werden, als Schrift zu fixiren, läßt Steinheil vermittelst eines Uhrwerkes einen langen Papierstreifen über Rollen sich gleichmäßig vor den Schreibgefäßen fort bewegen. Das Uhrwerk treibt die Rolle l, und diese wickelt den über die horizontal liegenden Rollen k, i laufenden und von der Vorrathswalze p kommenden Papierstreifen $pikl$ langsam auf sich auf.

Sobald also ein Strom den Multiplicator durchläuft, wird einer der Magnete abgelenkt und sein Schreibgefäß gegen das Papier gedrückt. Der auf

ſolche Weiſe geſetzte Punkt wird ſogleich nach ſeinem Entſtehen durch die Bewegung des Papiers vom Schreibgefäße fortgerückt, um einem folgenden Punkte Platz zu machen. Eine wiederholte Ablenkung deſſelben Magneten muß alſo einen der Lage nach von dem vorhergehenden ganz verſchiedenen Punkt zeichnen. Die Schrift wird demnach bei *k* aufgedruckt und befindet ſich auf dem zwiſchen *k* und *l* befindlichen Streifen, bis ſie auf *l* aufgerollt wird.

Das Alphabet Steinheil's iſt folgendes:



Der Steinheil'ſche Telegraph wurde zwiſchen der königl. Akademie zu München und der Sternwarte zu Bogenhauſen eingerichtet; der Leitungsdraht wurde über die Häuſer und Thürme der Stadt aufgeſpannt, und hatte eine Länge (hin und zurück) von 30,500 Pariſer Fuß. Ein anderer 6000 Fuß langer Eiſendraht verband die Wohnung Steinheil's in der Lerchenſtraße mit der Akademie und der Sternwarte, und ein dritter Theil des Leitungsdrahtes (ein 1000 Fuß langer feiner Kupferdraht) führte im Innern der Akademie zu dem phyſikaliſchen Cabinette.

223 **Der einfache Morſe'ſche oder der Amerikaniſche Telegraph.** Schon im October des Jahres 1832, alſo fünf Jahre früher, als Wheatſtone ein Patent auf ſeinen erſten Nadeltelegraphen nahm, kam der amerikaniſche Profeſſor Morſe auf einer Reiſe, die er mit dem Packetboote Sully von Europa nach Amerike machte, auf die Idee, Elektromagnete zur Telegraphie zu verwenden. Indeſſen erſt nach vielen mühevollen Verſuchen kam er zum Ziele, und erſt im Jahre 1837 wurde die Einrichtung ſeines Drucktelegraphen bekannt gemacht.

Der Apparat giebt nur zwei Elementarzeichen, einen Punkt und einen Strich; dieſe Zeichen werden auf der empfangenden Station einem vermittelſt eines Uhrwerkes ſich abwickelnden Papierſtreifen eingeprägt und ſtellen einzeln oder zu 2, 3, 4, 5, 6 combinirt die Buchſtaben, Ziffern und andere convenable Zeichen dar.

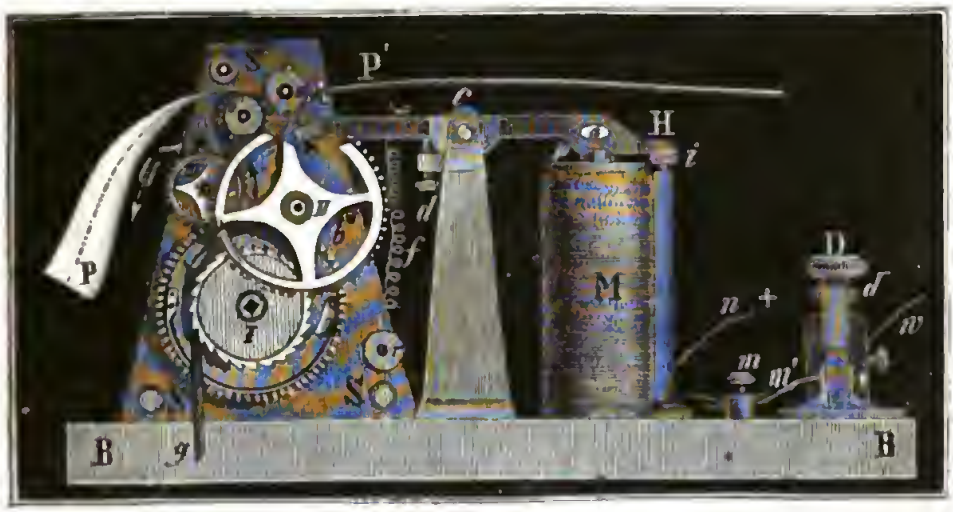
In seiner einfachsten Gestalt besteht der Telegraph Morse's außer der Batterie und dem Leitungsdrahte:

1) aus dem Schreibapparate oder dem Räderwerk,

2) aus dem Schlüssel oder dem Drücker.

Der Schreibapparat ist in Fig. 203 abgebildet. *M* ist der Elektromagnet; das Drahtgewinde desselben ist einerseits mit dem + Pole der Batterie,

Fig. 203.

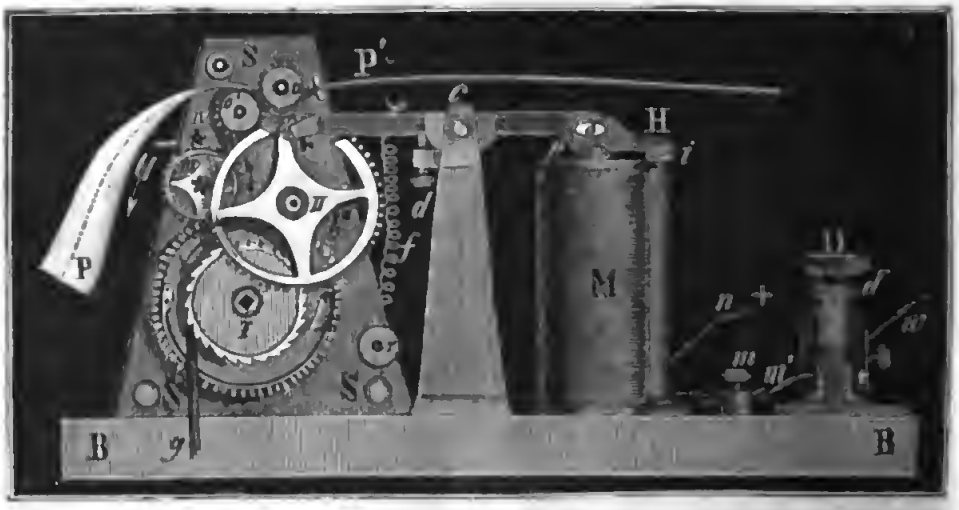


andererseits mit dem Messingsäulchen *m* verbunden. Die Eisenkerne *p* ragen etwas aus der Drahtrolle hervor. Der Anker *a* ist an einem Hebel *Hct* befestigt, dessen Drehpunkt in *c* liegt und dessen Ende *t* einen wohl gehärteten Stahlstift trägt. Durch die Schrauben *i* und *d* kann die Bewegung des Hebels *H* und des Stiftes *t* beliebig regulirt werden. Ein aus der Zeichnung leicht verständliches System von Rädern hat den Zweck, zwei einander sehr nahe liegende Walzen *o* und *o'* in eine entgegengesetzte Bewegung zu versetzen und dadurch einen langen und schmalen Papierstreifen *PP'* in gleichmäßiger Bewegung zwischen diesen Walzen hindurch an den Stift *t* vorbeizuziehen. Die Walze *o* ist genau an der Stelle, welche sich über dem Stifte *t* befindet, mit einer Rinne versehen, so daß der Stift bei seinem Aufsteigen das Papier, welches zwischen ihm und der eingekerbten Walze liegt, in diese Rinne hineindrücken und dadurch einen Eindruck in dasselbe machen kann. Ein Stift, welcher bei *b* eingesteckt wird, oder auch ein Frictionsreifen, der auf die Welle eines der Räder gelegt wird, hält das ganze Räderwerk während des Ruhezustandes in Stillstand; zieht man den Stift *b* heraus oder schlägt man den Frictionsreifen zurück, so setzt sich das Uhrwerk in Bewegung.

Die Signale bestehen, wie bereits gesagt, aus Gruppen von Punkten und Strichen. Sobald nämlich ein Strom den Elektromagneten *M* um-

kreiſet, wird *a* angezogen, der Stift *t* wird in die Höhe geſchnellt und macht in den Papierſtreifen einen Eindruck. Bei der Unterbrechung des Stromes

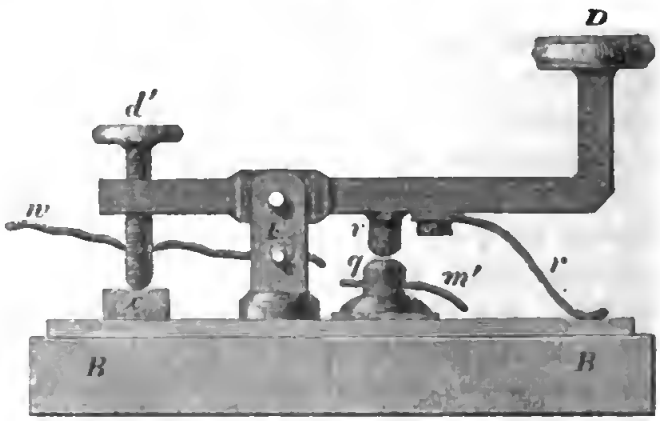
Fig. 204.



hört auch die Anziehung des Magneten auf und die Feder *f* zieht an dem Hebelarme *ct* den Stift *t* zurück. Dauert daher der Strom nur einen Augenblick, ſo macht *t* einen Punkt, dauert er länger, ſo entſteht auf dem ſich bewegenden Papierſtreifen eine Linie. Unterbricht man den Strom eine Weile und ſtellt ihn darauf wieder her, ſo entſteht zwiſchen den Eindrücken des Papiers eine Lücke.

Dieſe verſchiedenen Bewegungen des Stiftes *t* werden durch den Schlüſſel (Fig. 205) hervorgebracht, der in (Fig. 204) mit *D* bezeichnet und mit

Fig. 205.



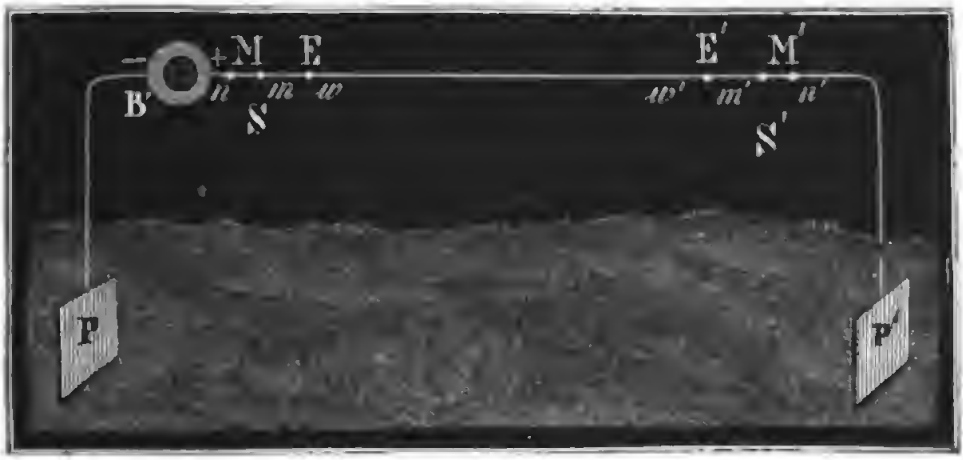
dem Räderwerke auf demſelben Tiſche feſtgeſchraubt iſt. Er beſteht aus einem Meſſinghebel *D*, der in der Meſſingſäule *E* ſeinen Drehpunkt hat und an ſeinem unteren Ende einen Meſſinghammer *v* trägt, durch welchen er

bei seinem Niedergehen mit dem darunter befindlichen Messingamboß q in Verbindung treten kann. Die Feder r sucht den Arm D stets aufwärts zu treiben. Vermittelst der Schraube d', welche durch den Druck von r beständig auf dem Elfenbeinstück x aufruht, läßt sich der Hebelarm D so tief herabbringen, daß der Hammer v mit dem Amboß q in inniger Berührung ist. Diese Stellung nimmt der Schlüssel ein, wenn er nicht arbeitet; man sagt dann, der Schlüssel ist geschlossen; im anderen Falle, wenn v mit q nicht in Berührung ist, nennt man den Schlüssel offen.

Das von dem Elektromagneten M (Fig. 204) kommende und in dem Säulchen m festgeschraubte Ende des Umwindungsdrahtes steht durch den Zwischendraht m' mit dem Amboß q des Schlüssels in Verbindung; in der Säule E ist dagegen das Ende w des von einer Station zur andern sich erstreckenden Leitungsdrahtes festgeschraubt.

Der Apparat in Thätigkeit. In der schematischen Figur 206 bezeichnen S, S' zwei Stationen der Telegraphenlinie; B die auf einer der

Fig. 206.



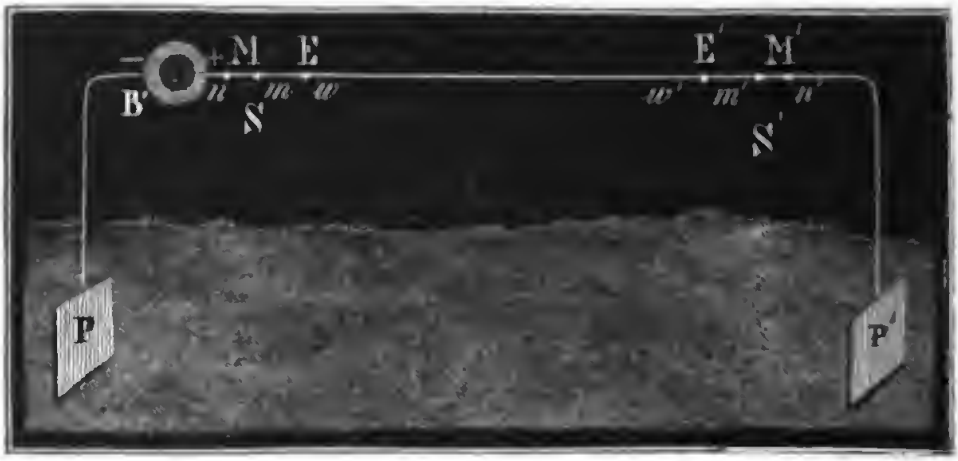
Stationen aufzustellende Batterie; M, M' die Elektromagnete nebst ihrem Räderwerke (Fig. 204); E, E' die Schlüssel (Fig. 205), w, w' den Leitungsdraht; P, P' die Erdplatten, von denen P mit dem —Pole der Batterie, P' mit dem Umwindungsdrahte des Elektromagneten M' in Verbindung steht.

In der Ruhelage sind die Schlüssel auf beiden Stationen geschlossen und es circulirt demnach der Strom der Batterie B ununterbrochen von q (Fig. 205) zu v und E, w u. s. w. überströmend durch die ganze Leitung und um die Eisenkerne von M, M'. Die Anker a (Fig. 204) sind daher bleibend angezogen und die Schreibstifte t drücken gegen das Papier.

Will die Station S eine Depesche abgeben, so öffnet sie ihren Schlüssel durch Lüftung der Schraube d' (Fig. 205), und unterbricht dadurch den Strom. Demnach fällt der Anker a (Fig. 204) sowohl auf S' als auf S

ab. Durch eine raſche Wiederholung des Schließens und Oeffnens des Schlüſſels ED wird die Batterie abwechſelnd geſchloſſen und geöffnet, und

Fig. 207.



das Ende H des Ankers a (Fig. 204) eben ſo oft gegen die Stahlſchraube s geſchnellt. Dieſes Hämmern des Ankers dient dem Telegraphiſten auf der Station S' als Signal für den Anfang des Telegraphirens. Letzterer ſetzt alſo ſein Räderwerk in Bewegung; der Papierſtreifen PP' bewegt ſich in Folge deſſen langſam am Stifte t vorbei.

Indem nun der Telegraphiſt in S den Arm D mit dem Hammer v des Schlüſſels einen Moment auf den Amboß q niederdrückt, alſo den Schlüſſel momentan ſchließt, wird auf der Station S', wo der Schlüſſel die geſchloſſene Stellung beibehält, von dem Schreibſtift ein Punkt geſetzt; hält der Telegraphiſt in S den Schlüſſel einige Augenblicke hindurch geſchloſſen, ſo erzeugt der Schreibſtift auf S' eine Linie. Bleibt der Schlüſſel in S ſo lange offen, als Zeit nöthig iſt, um drei Punkte zu machen, ſo entſteht in S' auf dem Papier in der Reihe der Eindrücke eine Lücke, welche das Ende eines Buchſtaben anzeigt, während eine doppelt ſo große Lücke als Signal für das Wortende gilt. — 10 bis 20 dicht hinter einander folgende Punkte oder auch eine lange Linie zeigen das Ende der Depeſche an, worauf die empfangende Station S' ihr Räderwerk arretirt und die arbeitende Station S ihren Schlüſſel ſchließt.

Als beſtes Material für den Schreibſtift hat ſich nach vielen Verſuchen mit Bleiſtiften, Dinten und allen möglichen Pigmenten, ein aus dem härteſten Stahl angefertigter Stift erwieſen; einmal gehörig geſchärft und geſtellt, macht er, ohne das Papier zu zerreißen, ſeine Eindrücke in daſſelbe, die ſcharf genug ſind, um leicht erkannt zu werden.

In dieſer Form kam Morſe's Telegraph zuerſt auf der telegraphiſchen Linie zwiſchen Baltimore und Waſhington zur Anwendung. Die beiden Erdplatten P, P' waren von Kupfer, 5 Fuß lang und $2\frac{1}{2}$ Fuß breit.

Das Morse'sche Alphabet, in welchem längere und kürzere Striche vorkamen, und das überhaupt nach Maßgabe der englischen Schrift gebildet war, wird jetzt nicht mehr gebraucht; man wendet gegenwärtig zur Darstellung von Signalen nur Punkte und kurze Striche von gleicher Länge an; auf das für die deutsche Correspondenz eingerichtete Alphabet kommen wir in der Folge noch zurück.

Das Uebertragungsprincip und das Relais. Da behufs des 224
Betriebs eines Telegraphen der Strom in der Regel bedeutend lange und noch dazu feine Drähte zu durchlaufen hat, seine Intensität aber eben hierdurch sehr geschwächt wird, und außerdem durch den Mangel einer vollständigen Isolirung der Drahtleitung vom Erdboden ein beträchtliches Quantum des Stromes auf Nebenwegen seinen Kreislauf vollendet, ohne das Ende der Leitung und die daselbst eingeschalteten Zeichengeber erreicht zu haben: so reichen zum Betriebe derjenigen Apparate, welche einen schweren Gang haben und eine bedeutende Tragweite entwickeln sollen, die gewöhnlichen und die im Vorhergehenden beschriebenen Mittel nicht mehr aus.

In solchen Fällen läßt man die Hauptbatterie, deren Strom durch den ganzen Leitungsdraht nach der entfernten Station hingeleitet wird, und daher Leitungsbatterie genannt wird, nicht mehr direct auf die Elektromagnete der entfernten Zeichengeber einwirken, sondern man verwendet diesen Strom bloß dazu, um daselbst irgend eine kleine Bewegung zu erzeugen und dadurch eine zweite, hier stehende Batterie, Localbatterie genannt, abwechselnd zu öffnen und zu schließen. Die Localbatterie wirkt dann direct auf die Elektromagnete des Zeichengebers und besteht meistens, weil ihr Strom nur sehr kurze und dicke Drähte ohne alle Nebenschließung zu durchlaufen hat, also auf seinem Wege nur sehr wenig geschwächt wird, aus wenigen Elementen.

Die Vorrichtung, auf welche die entfernte Leitungsbatterie einwirkt und die ihrerseits wieder die Localbatterie öffnet und schließt, heißt Uebertrager oder Relais. Das Princip ist bei ihnen allen dasselbe; die Construction ihrer einzelnen Theile und die Art ihrer Einschaltung zwischen den Leitungsdraht und den Apparat ist durch die Einrichtung des Zeichengebers, mit dem sie in Verbindung stehen, bedingt.

Wheatstone (Dingler's Journal Bd. 72, S. 215 ff.) hat dieses Princip zuerst, im Jahre 1839, aufgestellt und davon eine sinnreiche Anwendung auf seinen elektromagnetischen Wecker gemacht. Im Jahre 1845 brachte Morse einen vervollkommneten Apparat von Amerika nach Paris und deponirte ihn dort, ohne ihn vorgezeigt zu haben, auf der amerikanischen Gesandtschaft (Compt. rend. 1846, Bd. 23, S. 880).

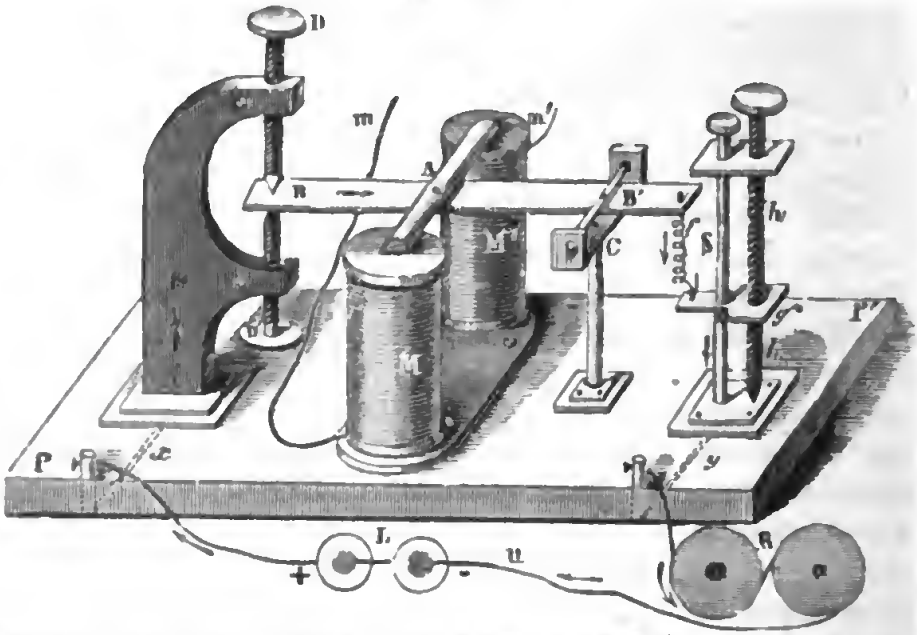
In der neuesten Zeit haben sich Robinson, Halske, Siemens, Kramer und Stöhrer mit der Verbesserung dieser Vorrichtungen be-

ſchäftigt und gegenwärtig ſind dieſelben faſt auf allen längeren Linien in der einen oder der anderen Geſtalt in Anwendung.

Am intereſſanteſten und am meiſten gebraucht iſt das Relais zu Morſe's Telegraph, wie es gegenwärtig auf faſt allen längeren Linien Amerikas, Preußens (Berlin — Deutz, Berlin — Hamburg, Berlin — Frankfurt), Oeſterreichs u. a. in Anwendung iſt.

In Fig. 208 iſt MM' ein Elektromagnet mit ſehr vielen Umwindungen eines feinen Kupferdrahtes; A der auf dem Hebel BB' befeſtigte Anker

Fig. 208.



deſſelben. Der Hebel BB' iſt in den Pfannen des Ständers C leicht drehbar und liegt mit ſeinem Ende B zwiſchen den Spitzen zweier Schrauben D und D', von denen die obere D von Elfenbein iſt, die andere aber mit dem Metallkörper des Trägers E in leitender Verbindung ſteht. Eine Spiralfeder f, die an dem verſchiebbaren Plättchen g befeſtigt iſt und durch die Schraube h je nach Bedürfniß angeſpannt oder nachgelaſſen werden kann, hält den Anker A von den darunter liegenden Eiſenkernen des Elektromagneten MM' entfernt und drückt das Ende B gegen die Elfenbeinſpitze der Schraube D loſe an, ſo lange kein Strom durch die Windungen von MM' circulirt; wird aber dieſer Strom eingeleitet, ſo giebt die Feder f nach, A wird angezogen und der Meſſinghebel BB' tritt mit der unteren Schraube D', ſo wie mit E in metalliſche Verbindung. Alle dieſe Theile E, MM', C, S und h, ſind durch Elfenbeinplättchen, auf denen ſie ſtehen, von einander iſolirt. Von den Metallſtändern E und S aus gehen unter der hölzernen Geſtellplatte PP' die Drähte x, y zu zwei Drahtklemmen, die das Relais mit der Localbatterie und dem Räderwerke (Fig. 204) verbinden.

In der Fig. 208 stellt *R* den Elektromagneten dieses Räderwerkes, *L* die Localbatterie vor; die Art und Weise der Einschaltung dieser Theile in das Relais ist aus der Zeichnung ohne Weiteres verständlich. Die Enden *m*, *m'* des Umwindungsdrahtes von *MM'* im Relais mögen nach der entfernten Station hingeleitet und dort mit den Polen der Leitungsbatterie verbunden gedacht werden.

Wird nun die Leitungsbatterie geschlossen, so wird auf der entfernten Station der Anker *A* angezogen und es tritt *B* mit *D'* in Berührung. Dadurch ist aber die Localbatterie *L* geschlossen und liefert einen Strom in der Richtung +, *x*, *E*, *D'*, *BB'*, *f*, *g*, *S*, *y*, um *R*, *u*, —, in Folge dessen der Schreibstift *t* (Fig. 204) einen Punkt oder, bei längerer Dauer des Stromes um *MM'*, eine Linie macht. Sobald die Leitungsbatterie auf der entfernten Station unterbrochen wird, zieht die Feder *f* im Relais den Anker *A* wieder ab, *B* verläßt die Schraube *D'* und lehnt sich gegen *D* an, der Localstrom aus *L* ist also ebenfalls unterbrochen und der Schreibstift in *R* fällt wieder ab.

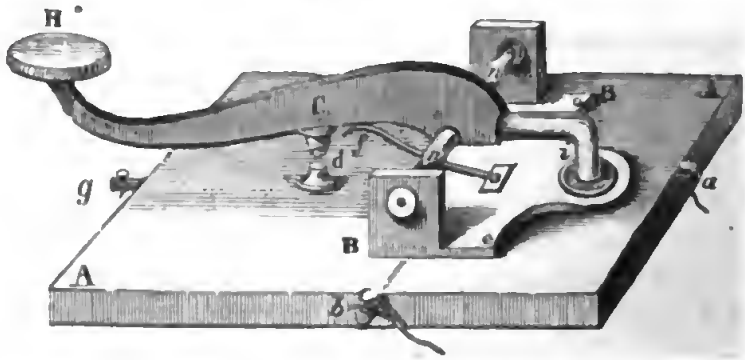
Mittelst dieses Relais oder Uebertragers erlangt der Morse'sche Telegraph, der ohne dasselbe wegen des bedeutenden Kraftaufwandes, den der Schreibstift erfordert, entweder nur auf kürzeren Strecken zu gebrauchen ist, oder auf längeren Linien eine unverhältnißmäßig große Batterie erfordert, bei einer kleinen Batterie eine sehr bedeutende Tragweite; denn da der durch die Drahtleitung circulirende Hauptstrom nur den leicht beweglichen Anker des Relais zu führen hat, wozu eine ganz geringe Kraft ausreicht, der Localstrom aber beliebig stark gemacht werden kann, so vermag der Schreibstift auf 100 und mehre Meilen Entfernung ohne Zwischenstationen mit großer Bestimmtheit seine Zeichen zu geben.

Es bleibt noch übrig, um eine vollständige Anschauung von der Art und 225
Weise zu erhalten, wie gegenwärtig Morse's System mit dem Relais zwischen sehr weit von einander entfernten Stationen (Berlin — Cöln) zur directen Correspondenz (d. h. ohne Anwendung von Zwischenstationen) in Anwendung kommt, die Einschaltungsweise des Räderwerkes, des Schlüssels, der Leitungs- und der Localbatterie, so wie des Relais in dem Leitungsdraht näher anzugeben.

Der Schlüssel hat hierbei folgende von der in Fig. 205 angegebenen Construction etwas abweichende Einrichtung: Der Drücker *H* (Fig. 209 s. f. S.) steht durch seine Drehaxe *nn* und deren Lager *BB* mit der Drahtklemme *b* in beständiger Verbindung; außerdem kann er durch Niederdrücken mit dem Messingamboß *d*, der durch einen Draht mit der Klemme *g* verbunden ist, in Berührung gebracht werden, während er im Ruhezustande mit seinem Vorderende *i* auf einem von dem Lager *BB* durch einen Elfenbeinring isolirten, und mit der Drahtklemme *a* verbundenen Metallstück,

das in der Zeichnung ſchraffirt erſcheint, aufſteht; die Feder *f* drückt nämlich den Vorderarm *HC* ſtets aufwärts. In dieſem Zuſtande, wo *C* von

Fig. 209.



d getrennt iſt, heißt der Schlüſſel offen, im andern Falle, wenn *C* gegen *d* niedergedrückt wird, heißt er geſchloſſen.

Die ſchematiſche Figur 210 erläutert nun das Arrangement der drei Haupttheile, des Räderwerkes *R* (Fig. 204 *), des Relais oder des Uebertragers *Ü* (Fig. 208) und des Schlüſſels *Sch* (Figur 209), ſo wie die Einſchaltungsweiſe der Leitungsbatterien *z' k''* und *k' z''*, der Localbatterien *L* und den übrigen Theil des Drahtverlaufes für zwei mit einander correſpondirende Stationen, z. B. Berlin und Cöln.

Die einzelnen Theile des Relais ſo wie des Schlüſſels ſind hier mit denſelben Buchſtaben bezeichnet, mit denen dieſelben Theile in den bezüglichen Figuren 208 und 209 bezeichnet ſind.

K, K bezeichnen die Erdplatten; der ſich zwiſchen *z* und *k* erſtreckende Draht iſt der entweder auf Stangen durch die Luft ausgeſpannte, oder, wie in Preußen, in einer Gutta-Percha-Hülle eingeſchloſſene Leitungsdraht.

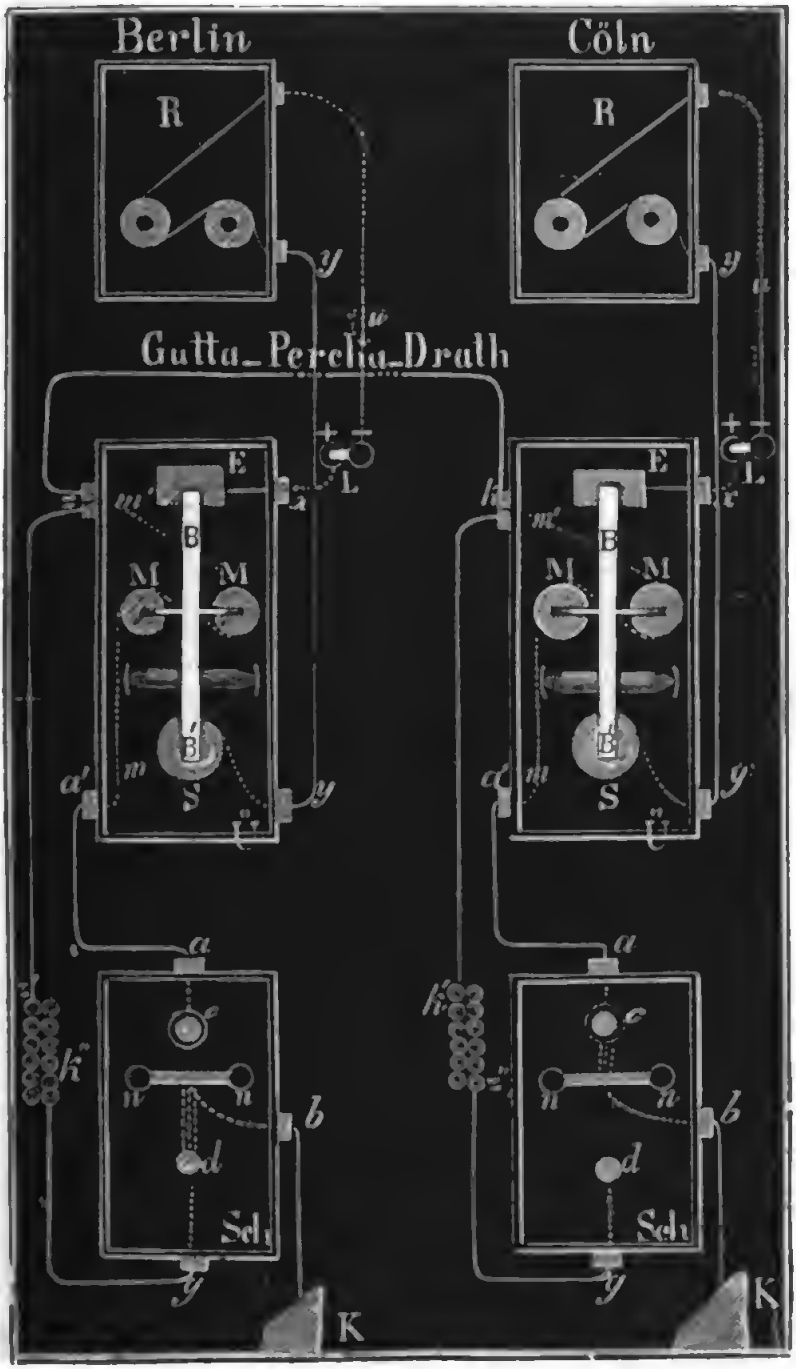
In dem Ruhezuſtande des Telegraphen iſt auf beiden Stationen der Schlüſſel offen, d. h. es ſteht der Hebel *HCi* (Fig. 209) und ſeine Axe *nn*, daher auch *b* und *K*, mit *c* und *a* in Verbindung. Dadurch iſt ſowohl jede Localbatterie, als auch jede Leitungsbatterie offen, denn der Strom der erſtern findet bei *E* (Fig. 208), der Strom der letztern bei *d* (ſ. Cöln) keine weitere Leitung.

Berlin will nun eine Depeſche abgeben: Der Telegra-

*) Die Stücke *m, m', Dd' w* dieſer Figur ſind im Gedanken zu entfernen, und die Drahtenden des Elektromagneten zu befeſtigen, wie es die Figur 210 angiebt.

phiſt in Berlin drückt den Griff *H* (Fig. 209) nieder und ſchließt den Schlüſſel, wodurch *d* mit *nn* und *b* in Verbindung tritt, die Verbindung zwiſchen *nn* und *c* aber aufgehoben wird. Hierdurch iſt die Berliner Leitungsbatterie geſchloſſen und liefert einen Strom in der Richtung *k''*, *g*, *d*, *nn*, *b*, *K*, durch die Erde nach Cöln, in Cöln: *K*, *b*, *nn*,

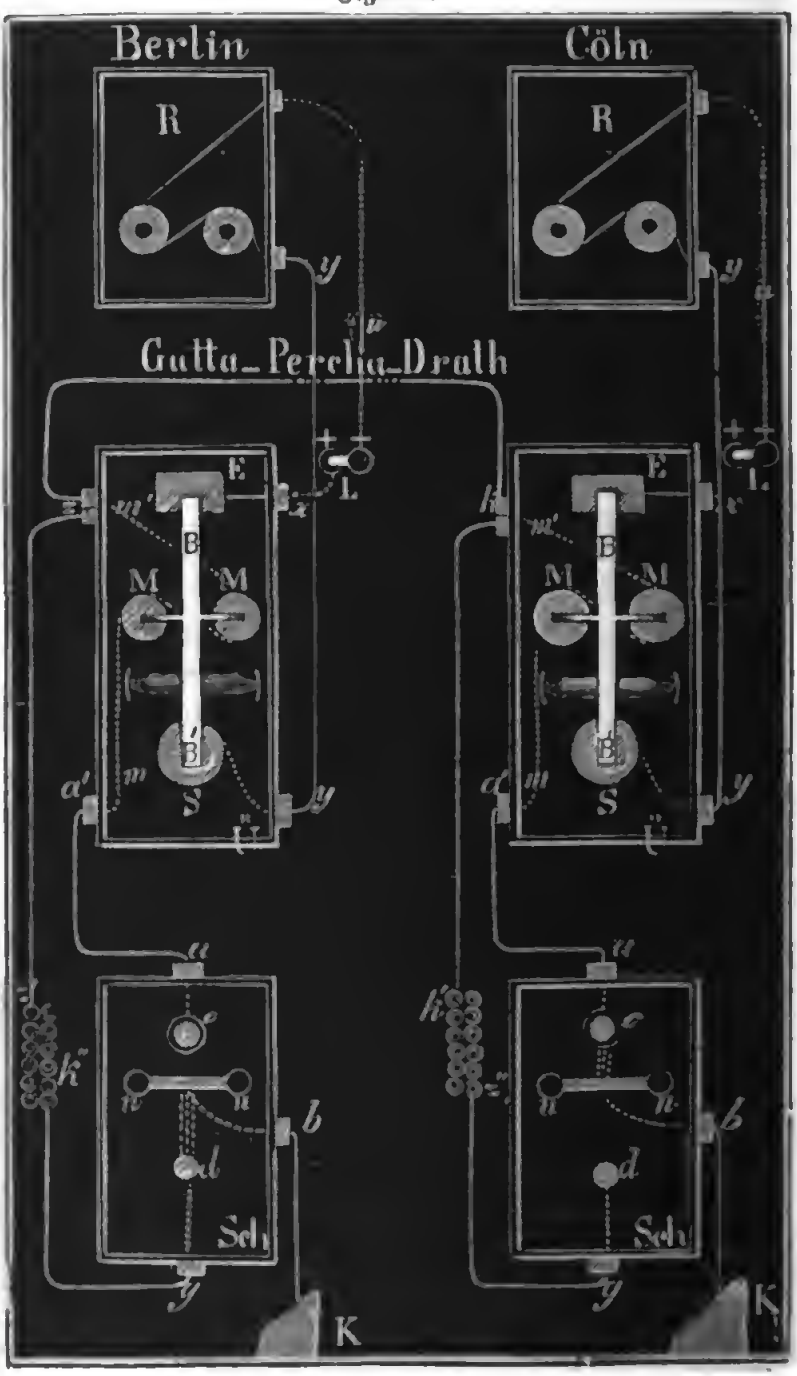
Fig. 210.



c, *a*, *a'*, *m*, *MM*, *m'*, *k*, durch den Leitungsdraht nach Berlin zurück, in Berlin: *z z'*.

Der Berliner Strom magnetiſirt alſo den Elektromagneten *MM* des Cölner Relais, wodurch, wie in Nr. 14 gezeigt wurde, in Cöln der Hebel *B B'* mit *E* in Verbindung tritt, die Localbatterie *L* geſchloſſen,

Fig. 211.



und ein Strom in der Richtung $+$, x, E, BB', S, yy, R, u, — um den Elektromagneten des Schreibstiftes geleitet wird, in Folge dessen der letztere einen Eindruck auf das Papier macht.

Wenn der Berliner Telegraphist den Schlüssel wieder öffnet, fällt in Cöln zunächst der Anker des Relais wieder ab, in Folge dessen aber wird die Localbatterie L wieder geöffnet und der Schreibstift fällt ab. So lange aber in Berlin der Schlüssel geschlossen bleibt, eben so lange drückt der Cölner Schreibstift gegen sein Papier, und erzeugt, wenn letzteres in Bewegung ist, auf demselben eine Linie.

Ein rasch hinter einander folgendes Hämmern mit dem Schlüssel in Berlin, hat also ein Hämmern des Hebels H (Fig. 204) gegen i in Cöln zur Folge, und dieses dient hier als Signal für den Beginn des Telegraphirens. Der Cölner Telegraphist setzt sofort sein Räderwerk in Bewegung und fängt an, die auf Papierstreifen entstehende Depesche zu dechiffriren. Sobald das Signal für das Ende der Correspondenz angekommen ist, arretirt der Cölner Telegraphist sein Räderwerk und giebt sogleich durch Hämmern mit seinem Schlüssel das Signal, daß er antworten will. Nun löst der Berliner Telegraphist sein Räderwerk aus und empfängt die Meldung von Cöln, ob die Depesche verstanden ist oder nicht u. s. w.

Die vorstehend beschriebenen Morse'schen Vorrichtungen stehen alle, sammt dem Siemens-Halske'schen Zeiger-Apparate mit einem einzigen Leitungsdraht in Verbindung, und zwar vermittelst eines äußerst sinnreich construirten Wechselapparates, der bald die Morse'schen, bald die Siemens-Halske'schen Theile zwischen den Leitungsdraht und die Erdplatte einschaltet. (Schellen's Telegr. S. 242.)

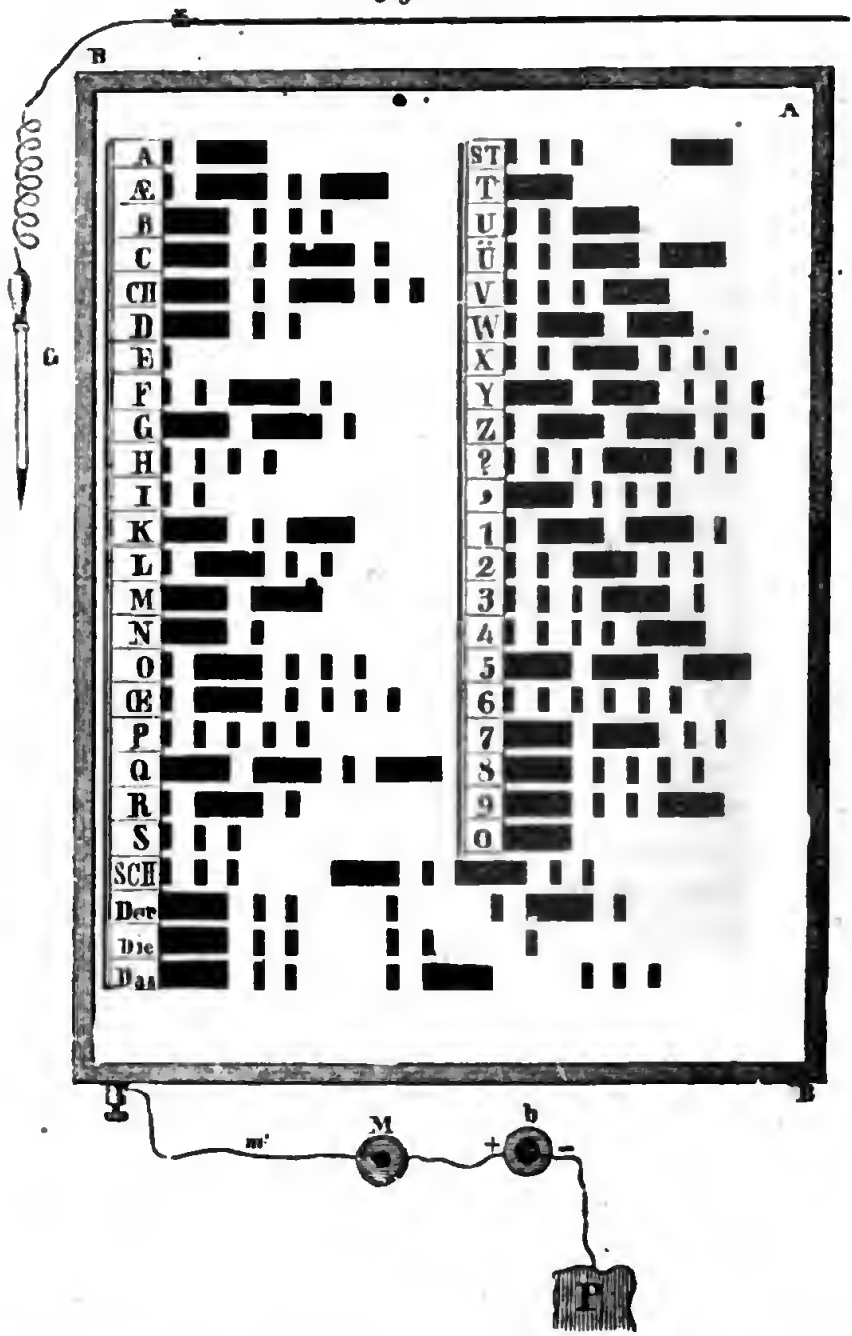
Morse's Schreibplatte. Der Umstand, daß die Aneignung der 226
manuellen Fertigkeit des Zeichengebens mittelst des in dem Vorigen beschriebenen Hebel-Schlüssels für viele Individuen mit großen Schwierigkeiten verbunden ist, veranlaßte schon Morse, denselben durch eine leichter zu handhabende Vorrichtung zu ersetzen und dadurch das Operiren mit seinem Telegraphen für jeden möglich zu machen.

Diese Vorrichtung besteht aus einer Tafel, welche aus Leitern und Nichtleitern der Elektricität zusammengesetzt ist, und aus einem Griffel. Die Fig. 212 (s. f. S.) versinnlicht diese Tafel und ihren Zusammenhang mit dem Morse'schen Schreibapparate (Fig. 203), der Batterie und dem Griffel.

Die schwarzen Rechtecke der Tafel A sind von Metall, die weißen Theile derselben von Elfenbein. Jene gehen durch das Elfenbein fest an-

liegend hindurch und ſind unterhalb der Elfenbeinplatte *A* an einer gemeinſamen Metallplatte *B B* angelöthet.

Fig 212.



Dieſe Leitplatte *B* wird nun ſtatt des Hügels (Amboß) *q* im Morſe'ſchen Schlüſſel (Fig. 204) in die Drahtleitung gebracht, d. h. durch den Draht *m'* mit den Umwindungen des Elektromagneten *M* im Schreibap-

parat (Fig. 203) in Verbindung gesetzt. Der von der entfernten Station kommende Leitungsdraht *w*, welcher in Fig. 204 bei *E* des Schlüssels eingeschraubt ist, ist hier mittelst eines dünnen, spiralförmig gewundenen, gut isolirten Drahtes an den metallenen Kopf eines elfenbeinernen Griffels *G* befestigt, durch welchen, wie das Blei in einer Bleifeder, ein Kupferdraht hindurchgeht, der in eine rundlich zulaufende Spitze von Platina endigt.

Setzt man den leitenden Griffel *G* auf eines der Metallstücke der Platte *A*, so wird die Batterie *b* begreiflicher Weise ebenso geschlossen, als ob in Fig. 204 der Hebel *D* des Schlüssels auf den Metallamboß *q* niedergedrückt worden wäre; denn der Strom circulirt vom + Pole aus durch die Umwindungen des Elektromagneten *M* im Schreibapparate über *m'* nach der Leitplatte *B B* und den schwarzgezeichneten Metallstücken der Platte *A*, von wo er durch den Griffel *G* zu dem Leitungsdrahte *w* und der entfernten Station gelangt. Im Ruhezustande müssen daher, damit die Leitung nirgendwo unterbrochen sei und ein Continuum bilde, auf beiden Stationen die Griffel auf dem Metall der Platte *A* ruhen. Setzt man dagegen den Griffel auf eines der Elfenbeinstücke, so wird die Leitung unterbrochen, die Batterie geöffnet und der Strom abgeschnitten.

Sind daher die in der Elfenbeinplatte *A* eingelegten Metallstücke nach dem richtigen Verhältnisse des Morse'schen oder sonst gewählten Alphabetes bemessen und für jeden Buchstaben reihenweise eingesetzt, wie die schwarzen Felder in der Zeichnung zeigen, und führt man den Griffel in gerader Linie über eine Reihe solcher eingelegten Stückchen, so punktirt und strichelirt der Morse'sche Schreibstift (Fig. 203) auch die Zeichen genau nach demselben Verhältnisse; denn der Schluß und die Unterbrechung des Stromes erfolgt genau nach dem Längenverhältnisse der in die Platte *A* eingesetzten Stückchen und ihrer Zwischenräume. So lange nämlich der Griffel auf Metall steht, bleibt der Strom hergestellt und der Schreibstift in Fig. 203 angedrückt, so lange er über Elfenbein geht, bleibt der Strom unterbrochen. Daher bringt ein Gang des Griffels über ein kurzes Metallstück in den Schreibapparat einen Punkt, ein gleichmäßiger Gang über ein Elfenbeinstück eine Lücke hervor.

Die Zeichnung ist nach dem folgenden Alphabete angeordnet, welches abweichend vom Morse'schen nur Punkte und Striche von gleicher Länge enthält und sich erfahrungsgemäß als sehr zweckmäßig herausgestellt hat *):

*) Anmerk. Nach diesem Alphabete wird u. A. auch in Preußen, Hannover, auf der Hamburg-Curhavener Linie gearbeitet. — Prof. Meißner in Braunschweig ist unabhängig von Morse auf dieselbe Idee gekommen, den Morse'schen Schlüssel durch die Schreibplatte zu ersetzen und nach

a •—	d —••	i ••	o —•••	s •••
ä •—•—	e •	k —•—	ö —•••	t —
b —•••	f ••—•	l •—••	p ••••••	u ••—
c —•—•	g ——•	m ——	q ——•—	ü ••——
ch ——•—••	h ••••	n —•	r •—•	v •••—

w •——	1 •———•	6 ••••••	?••——••
x ••—•••	2 ••———••	7 ———••	/—•••
y ———•••	3 •••—•	8 ———•••	,———•••
z ———••	4 ••••—	9 ——•—	
	5 ———	0 ——	

Es iſt von ſelbſt klar, daß während des Arbeitens der Griffel *G* auf der empfangenden Station dauernd auf dem Metall der Platte *A* oder *B* ſtehen muß. Auch hat ſich als Erfahrungsſache herausgeſtellt, daß man, um zu telegraphiren, mit dem Griffel ganz ruhig, langſam und gleichmäßig über die Zeichen fahre, dafür aber nicht zu viel Zeit verſtreichen laſſe, um den nächſtfolgenden Buchſtaben aufzuſuchen.

Um das Abgleiten von einer Buchſtabenreihe zu verhüten, überdeckte Morſe die Buchſtabenplatte *A* noch mit einer nicht leitenden Richtplatte, welche mit langen ſchmalen Oeffnungen verſehen iſt und ſo auf die Buchſtabenplatte *A* gelegt wird, daß jeder Buchſtabe genau unter einer ſolchen Oeffnung ſteht. Beim Telegraphiren fährt der Signaliſt dann mit dem Griffel durch dieſe Oeffnungen hindurch, wie als ob er an einem Lineal gerade Linien zöge.

In Amerika iſt dieſe Schreibplatte häufig im Gebrauche; in Deutſchland arbeitet man dagegen mit dem Schlüſſel.

227 **Der Doppelſtift-Apparat von E. Stöhrer.** Unter der geſchickten Hand Stöhrer's hat das amerikaniſche Syſtem eine Abänderung erhalten, die bereits in Sachſen und in Baiern mehrfach in Anwendung iſt. Stöhrer wendet unter Beibehaltung eines einzigen Leitungsdrahtes zwei Elektromagnete am Räderwerke mit zwei Schreibſtiften an, welche vermittelſt eines Relais nach der Willkür des entfernten Telegraphiſten unter Anwendung zweier Schlüſſel einzeln in Bewegung geſetzt werden können. Dieſer hat demnach über 4 Elementarzeichen zu verfügen, einen obern und einen untern Punkt, eine obere und eine

---

den von ihm angeſtellten Verſuchen iſt jeder Telegraphiſt binnen ganz kurzer Zeit im Stande, damit ſicher zu arbeiten und ohne Anſtrengung, ja mit der größten Leichtigkeit und Sicherheit, ohne zu ermüden, die längſten Depeſchen zu befördern.

untere Linie, ähnlich wie bei Steinheil. Das Stöhrer'sche Alphabet ist folgendes:

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n
—	—	—	·	·	—	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	—	·	·	—	·	·	·	·	·	·
							·		·	·	·	·

o	p	q	r	s	t	u	v	w	z	u. s. w.
·	—	·	·	·	·	—	·	·	·	
·	·	—	·	·	·	—	·	·	·	

Da hierbei die einzelnen Buchstaben im Allgemeinen durch weniger Elementarzeichen repräsentirt werden, als bei dem Einstift-Apparate, so ist klar, daß die Geschwindigkeit, mit welcher der Stöhrer'sche Apparat arbeitet, weit größer ist, als bei dem Morse'schen. Siemens hat das Stöhrer'sche Relais bedeutend verbessert.

Die elektromagnetischen Wecker. Es stellte sich bei der fort- 228
schreitenden Entwickelung der Telegraphie sehr bald das Bedürfniß ein, neben den sichtbaren Signalen auch hörbare geben zu können, um dadurch auf den Beginn des Telegraphirens aufmerksam zu machen, überhaupt aber um dadurch von der Ferne her die mit der Aufsicht über eine Maschine oder eine Eisenbahnstrecke beauftragten Wärter auf ihren Posten rufen zu können.

Sömmering und Schilling construirten schon Wecker, um die Aufmerksamkeit des Telegraphisten zu erregen; sie beruhten auf der Zersetzung des Wassers und erfüllten ihren Zweck nur zum kleinsten Theile.

Erst Wheatstone (Dingl. Journ. Bd. 72. S. 215.) löste diese Aufgabe vollständig. Anfänglich ließ er das hebelförmig verlängerte Ende des Ankers eines Elektromagneten direct auf eine Glocke schlagen; aber die anziehende Kraft des Magneten war bei bedeutendern Entfernungen nicht stark genug, um einen etwas schweren Hammer mit der erforderlichen Kraft gegen die Glocke zu führen. Er verwandte daher die elektromagnetische Anziehung nur dazu, um einen leichten, im Ruhestande das Räderwerk eines gewöhnlichen Weckers oder Uhrschlagwerkes arretirenden Anker anzuziehen, durch diese Bewegung die Hemmung auszulösen und das Schlagwerk ablaufen zu lassen.

Man kann alle gegenwärtig in Anwendung kommende Wecker, Alarms, Glockenapparate, Signalgeläute oder wie sie sonst heißen mögen, in zwei Klassen bringen: Wecker mit und ohne Uhrwerk.

Die ersteren sind die gewöhnlichern und zerfallen wieder in zwei Klassen.

In dem einen Falle hat das Uhrwerk der Glocke einen auf dem Anker des Elektromagneten sitzenden Sperrer, der das Räderwerk so lange arretirt, als der Elektromagnet nicht vom Strome umkreiset ist. So oft dann der Telegraphist die Batterie schließt, wird auf der Glockenstation

der Anker angezogen, dadurch die Hemmung ausgelöst, das Uhrwerk in Bewegung gesetzt und die Glocke zum Ertönen gebracht. Unterbricht der Telegraphist den Strom, so greift der abfallende Anker wieder in die Zähne des Räderwerkes ein und setzt dasselbe in Stillstand. Dahin gehört auch die Einrichtung, wobei im Ruhezustande der Anker den Wecker arretirt, beim ersten Anziehen aber das Uhrwerk frei macht und es vollständig ablaufen läßt. Bei dieser Vorkehrung ist nach jedem Wecken ein Aufziehen des Werkes nöthig

In dem andern Falle kann der Telegraphist immer nur eine ganz bestimmte Anzahl von Einzelschlägen hervorrufen. Dann enthält eines der Räder auf seinem Umfange ebenso viele Daumen, als die Glocke jedesmal Schläge thun soll. Die Daumen wirken auf den hebelförmig verlängerten Klöppel der Glocke; bei einem Umlaufe des Rades wird daher der Klöppel so oftmal niedergedrückt, als Daumen vorhanden sind. Das Werk kommt dadurch zum Stillstande, daß der letzte Daume einen Vorsprung hat, mit dem er gegen den nicht angezogenen Anker des Elektromagneten anhält. Wird der Anker angezogen, so wird dieser Vorsprung frei und das Werk bleibt so lange in Bewegung, bis nach vollendetem Umlaufe des Daumenrades der Vorsprung des letzten Daumens sich gegen den mittlerweile wieder frei gewordenen Anker anlegt.

Von dieser Art sind die Signalglocken, welche man hier und da auf den Wärterhäuschen einer Eisenbahnlinie antrifft und die in der Regel bei jeder Auslösung durch den Strom 12 oder 24 Glockenschläge geben als Signal, daß der Zug von der benachbarten Station in der einen oder der andern Richtung abgefahren ist. Durch einen einfachen Druck auf einen Knopf oder durch Umlegen eines Hebels schließt und öffnet ein Beamter die Batterie, sobald der Zug sich in Bewegung setzt.

Die Wecker ohne Uhrwerk zerfallen ebenfalls in zwei Klassen. In dem einen Falle wirkt der Anker des Elektromagneten direct auf den Klöppel der Glocke, und es muß daher der Telegraphist für jeden Glockenschlag seine Batterie schließen und wieder öffnen. Sie sind nicht mehr im Gebrauche, weil für größere Entfernungen eine sehr starke Batterie dazu erforderlich ist, um den Elektromagneten bis zu dem Grade zu magnetisiren, daß er durch Anziehung seines Ankers kräftige und weit hörbare Schläge hervorbringen kann.

In dem andern Falle hat der Telegraphist nur ein einzig Mal die Batterie zu schließen, um die entfernte Glocke in ein fortdauerndes Geläute zu versetzen, das so lange anhält, als die Batterie in Wirksamkeit bleibt. Man kann diese Art Geläute, die in physikalischer und mechanischer Beziehung die interessantesten sind, die continuirlichen Wecker oder Wecker mit Selbstunterbrechung nennen. So viel bekannt, hat

gegenwärtig nur Siemens-Halske's Telegraph und deren Ausſchalter eine derartige Vorrichtung.

Bakewell's elektro-chemiſcher Telegraph. Die Londoner illu- 229
ſtrirte Zeitung vom 23. November 1850 theilt eine von Bakewell neu erfundene Anwendung der galvaniſchen Elektricität auf die Telegraphie mit, welche des einfachen Principes wegen auf den erſten Augenblick die größte Aufmerkſamkeit auf ſich zieht, näher ins Auge gefaßt, aber für die practiſche Anwendung nicht unerhebliche Schwierigkeiten mit ſich führen dürfte.

Der beſchriebene Apparat (Telegraph) beſteht aus einer metallenen Walze, welche durch ein Uhrwerk regelmäßig und ſehr raſch herumgedreht wird, am Ende dieſer Walze ſitzt auf derſelben Achſe ein Zahnrad, welches in ein davor liegendes zweites Zahnrad eingreift. Dieſes zweite Zahnrad ſitzt auf einer Schraubenſpindel, welche parallel neben der Walze in Lagern liegt, ſich alſo mit der Walze zugleich, jedoch nach entgegengeſetzter Richtung, bewegt.

Auf der Schraubenſpindel bewegt ſich eine loſe angeklemmte geſpaltene Schraubenmutter, die einen iſolirten Arm, an der Spitze mit einer Klemme für einen ſtählernen Griffel verſehen, trägt. Dieſer Griffel liegt mit ſeiner Spitze auf der Walze und beſchreibt bei der Bewegung durch das Uhrwerk eine enge Spirallinie auf derſelben. Von dem poſitiven Pol einer galvaniſchen Batterie führt ein Leitungsdraht nach dem metallenen Griffel, während einerſeits von der Metallwalze eine Leitungsfeder mit dem Leitungsdraht nach der entfernten Station verbunden iſt, andererſeits der negative Pol der Batterie an die Erdplatte führt Ein Bogen Papier angefeuchtet mit einer Auflöſung von blauſaurem Eiſenkali und verſetzt mit Salzſäure, wird um die metallene Walze gelegt, um den Apparat zur Aufnahme einer Depeſche vorzubereiten. Auf der correſpondirenden Station befindet ſich eine ganz gleiche Vorrichtung, nur wird auf dieſer Station der Bogen Papier, ehe er auf die dortige Walze gelegt wird, mit der zu telegraphirenden Depeſche mit einer iſolirenden Tinte, z. B. mit Firniß ꝛc. in nicht zu kleinen Buchſtaben beſchrieben und mit der Auflöſung des oben bezeichneten Blutlaugenſalzes gehörig befeuchtet.

Läßt man nun auf beiden Stationen die gleichmäßig gehenden Uhrwerke die Walzen bewegen, ſo ſtrömt die Elektricität auf der erſten Station jedes Mal, wenn der Griffel auf der zweiten Station keinen Schriftzug trifft, von dem poſitiven Pol aus dem ſtählernen Griffel durch das Papier in die Walze u. ſ. w., erzeugt durch die Zerſetzung des Eiſens Berlinerblau, daher die obenerwähnte Spirallinie tief blau erſcheint. So oft nun auf der zweiten Station der leitende Griffel einen iſolirenden

Schriftzug trifft, wird der galvaniſche Strom unterbrochen und die blaue Spirallinie auf der erſten Station wird in demſelben Verhältniß gleichfalls unterbrochen. Es bilden ſich demnach auf der Empfangsſtation die Schriftzüge weiß auf blauem Grunde.

Die Umſtändlichkeit des beſchriebenen Verfahrens läßt, wie leicht einzuſehen, noch ſehr viel zu wünſchen übrig, ehe Bakewell's Erfindung den Morſe'ſchen Apparat zu erſetzen im Stande ſeyn wird. Eine ähnliche, unter dem Namen Copier-Apparat bekannte telegraphiſche Vorrichtung von Bain, hat ſich bereits als unpractiſch bewieſen.

230 **Die Batterie.** Die weſentlichſte Anforderung, welche an eine für telegraphiſche Zwecke beſtimmte Batterie geſtellt werden muß, beſteht darin, daß der Strom derſelben bei einer hinreichend großen Intenſität auf längere Zeit in ſeiner Wirkung conſtant bleibe. Es iſt ſehr leicht, Batterien zuſammenzuſetzen, deren Strom lange conſtant bleibt; aber dieſe Ströme ſind in der Regel zu ſchwach, um die vielen Widerſtände, welche die Drahtleitung, die Erde, die feinen Umwindungsdrähte der Elektromagnete, die Polariſation u. ſ. w. bieten, zu überwinden (vergl. II. Abſchnitt S. 278.); die bekannten Batterien aber, welche ſtärkere Ströme liefern, erſchöpfen ſich gewöhnlich bald und verlangen eine häufige Erneuerung der Flüſſigkeiten. Die Aufgabe, eine der obigen Anforderung entſprechende und für den telegraphiſchen Betriebsgang geeignete Batterie zu conſtruiren, iſt daher trotz der vielfachſten Bemühungen noch nicht gelöſt, und es ſind gegenwärtig auf den verſchiedenen Telegraphen-Linien die mannichfaltigſten Combinationen in Anwendung.

Auf der Linie Berlin-Cöln-Verviers z. B. ſind ganz gewöhnliche Daniell'ſche Batterien im Gebrauch, die jeden Abend auseinandergenommen und jeden Morgen neu zuſammengeſetzt werden müſſen; in Amerika und zum Theil auch in Deutſchland iſt die Grove'ſche, in Oeſterreich die Smee'ſche Batterie im Gebrauch. Ihr Strom iſt bei weitem nicht ſo ſtark, als der aus Daniell'ſchen oder gar Grove'ſchen Zellen entwickelte iſt, und ſie eignen ſich daher nur für die mit Strömen von geringer Intenſität zu regierenden Nadeltelegraphen.

In England wird am meiſten die Sandbatterie angewandt, die aus Zink, Kupfer und Sand beſteht. Der Sand wird zwiſchen die Metallplatten in Tröge oder Fäſſer eingeſtampft und mit verdünnter Säure oder Salmiakauflöſung angefeuchtet. Von Zeit zu Zeit wird der Sand begoſſen und alle 5 — 6 Wochen, ja auf einigen Linien 6 — 8 Monate die ganze Batterie auseinandergenommen und gereinigt. (Vergl. II. Abſchn. S. 279.)

Gintl in Wien hat eine für transportable Telegraphen beſtimmte

Batterie zusammengesetzt, in welcher der flüssige Leiter durch eine sehr hygroskopische Substanz ersetzt ist und aus 30 Elementen von 4 Quadratzoll Oberfläche besteht. Der Strom derselben bleibt beinahe 3 Wochen ungeschwächt, und ist kräftig genug, um auf 30 — 40 Meilen Entfernung die Nadelapparate zu afficiren.

Stöhrer giebt an (Pogg. Annal. Bd. 77, S. 486), daß man durch Zusammensetzung von Kohle mit nicht amalgamirtem Zink und unter Anwendung einer concentrirten Alaunauflösung eine Batterie von sehr constanter Wirkung erhalten könne. Eine derartige, aus 9 Elementen bestehende Combination hatte zwei Jahre lang zur Telegraphie gedient und besaß doch noch beinahe ihre ganze ursprüngliche Stärke. Sie wird in einem verschlossenen Schrank aufbewahrt und höchstens alle Monate einmal begossen.

Der einfachste galvanische Erregungsapparat wurde im Jahre 1838 an dem Göttinger Telegraphen von Gauß (Schuhmacher's Jahrb. für 1839, S. 173.) hergestellt, indem er das eine Ende des Leitungsdrahtes mit einer Kupferplatte, das andere Ende mit einer Zinkplatte verband und beide Platten in die feuchte Erde eingrub. Es entstand auf diese Weise ein einfaches Volta'sches Element, in welchem eine 3000 Fuß dicke feuchte Erdschichte zwischen den Metallplatten die Stelle einer angesäuerten Pappscheibe versah. — Bain (Dingler's Journ. Bd. 90, S. 106.) erzeugte durch eine gleiche Vorkehrung einen lange andauernden und constanten Strom und er unterhielt damit seine galvanische Uhr auf lange Zeit in regelmäßigem Gange. Es ist indessen schon im Abschn. II. S. 280 bemerkt worden, und die Erfahrungen der neuern Zeit bestätigen es, daß der Strom aus diesen Combinationen, welche man Erdbatterien genannt hat, sehr schwach und jedenfalls zu schwach ist, um für die Telegraphie mit Erfolg verwandt werden zu können.

Die ausgedehnteste Anwendung von der Erdbatterie hat Steinheil auf der von ihm längs der Eisenbahn von München nach Nanhofen im Jahre 1846 errichteten 108,000 Fuß langen Linie gemacht. Die Metallplatte in München ist aus Kupferblech von 120 Quadratfuß Fläche, in Nanhofen ein Zinkblech von derselben Größe; beide Platten sind bis in das Horizontalwasser versenkt und durch einen auf Stangen durch die Luft geleiteten Kupferdraht verbunden. Der durch diese Einrichtung erzeugte Strom ist hinreichend stark, um die zur Controle der Bahn und der Fahrten nöthigen Zeichen hervorzubringen, indessen sind die Steinheil'schen Zeichengeber höchst einfach und erfordern zu ihrer Bewegung nur eine geringe Kraft. Zum Betriebe eines Morse'schen oder eines Zeiger-Telegraphen fehlt es der Erdbatterie durchaus an Kraft.

Endlich wiederholen wir, was schon oben im Vorbeigehen erwähnt

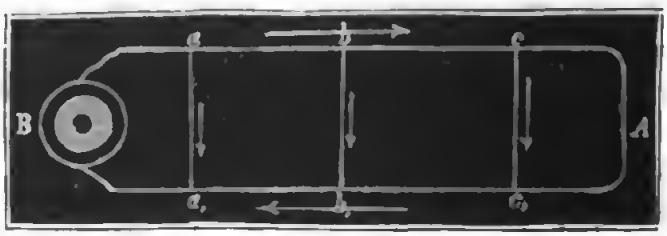
wurde, daß zuerst Gauß und nach ihm Steinheil die Inductionsströme zum Zeichengeben angewandt haben, freilich nur für kurze Strecken. Die Inductorrolle von Gauß bestand aus 7000 Fuß Kupferdraht, der Magnet von Steinheil aus 17 Hufeisen von 60 Pfd. Gewicht und etwa 300 Pfd. Tragkraft, die Drahtspiralen des Letztern hatten zusammen 1500 Umwindungen. Einen weit stärkeren magneto-elektrischen Apparat construirte Dujardin in Lille (Lond. Journ. of arts. Juli 1848. p. 402.); derselbe bestand aus drei hufeisenförmigen Magneten, jeder zu 7 Lamellen und 6 Drahtrollen mit 23 Kilogr. Kupferdraht, und lieferte einen Strom von hinreichender Stärke, um einen dem Morse'schen ähnlichen Telegraphen zu regieren. Am vollendetsten sind die magneto-elektrischen Maschinen, die gegenwärtig auf den sächsischen und baierischen Eisenbahn-Telegraphenlinien zum Betriebe der Stöhrer'schen Zeigerapparate angewandt werden. Schon 1846 versuchte Stöhrer mit einem kleinen, aus 5 Lamellen zusammengesetzten Magnet von nur 5 Zoll Länge den Cooke'schen Nadeltelegraphen in Bewegung zu setzen, und fand, daß der Strom der kleinen, aber kräftigen Maschine selbst bei aufliegendem Anker stark genug war, um auf 8 Meilen zu telegraphiren.

Seit dem September des Jahres 1847 sind nun die Stöhrer'schen Maschinen fortwährend im Gebrauch, und fortgesetzte Bemühungen nach dieser Richtung hin lassen erwarten, daß über lang oder kurz die eben so lästigen als kostspieligen hydrogalvanischen Batterien durch die magneto-elektrischen Maschinen aus den telegraphischen Bureaus werden verdrängt werden.

231 **Die Leitung.** Eine gute Leitung ist die erste Bedingung für die Brauchbarkeit einer telegraphischen Linie; die meisten Störungen, die gegenwärtig noch auf vielen, besonders den längern Linien in den telegraphischen Apparaten so häufig eintreten, fallen den Mängeln der Leitung zur Last, die hauptsächlich darin bestehen, daß die einzelnen Theile derselben nicht vollständig von einander isolirt sind und zu Nebenschließungen Veranlassung geben.

Bezeichnen z. B. *B* und *A* in der Fig. 213 zwei durch die Drähte *a b c*, *a' b' c'* verbundene Stationen, und wird in *B* eine Batterie in

Fig. 213.



dieſe Drahleitung eingeſchaltet, um bei *A* telegraphiſche Zeichen hervorzubringen, ſo wird der Strom, wenn die Drahttheile *a*, *a'* — *b*, *b'* — *c*, *c'* mit einander in leitender Verbindung ſtehen, keineswegs in ſeiner ganzen Stärke *A* erreichen, ſeine Intenſität nimmt vielmehr mit der Entfernung von *B* immer ab, und kann unter Umſtänden, wenn die Nebenſchließungen *aa'*, *bb' cc'* gute Leiter ſind, in *A* ſogar Null ſein. Aus dieſem Grunde, da auch bei der ſorgfältigſten Ausführung der Drahtleitung nicht alle Nebenſchließungen zu vermeiden ſind, vertheilt man die Batterie *B*, welche zum Betriebe der auf zwei benachbarten Stationen aufgeſtellten Apparate erforderlich iſt, in zwei Hälften, und ſtellt dieſe auf jeder Station ſo auf, daß ſie ihren Strom in gleicher Richtung durch die Leitung ſenden, und ſich alſo gegenſeitig unterſtützen.

Eine möglichſt vollſtändige Iſolirung der Drahtleitung in allen ihren Theilen iſt daher das erſte Erforderniß bei der Anlage einer Telegraphenlinie. Die große Schwierigkeit, viele nahe neben einander laufende Drähte gehörig zu iſoliren, machte ſchon allein die früheſten telegraphiſchen Verſuche von Sömmering, Ampere, Vorßelmann de Heer, Cooke und Wheatſtone u. dgl. für längere Strecken unausführbar Morſe, Cooke u. A. umwickelten die Drähte einzeln mit Baumwolle oder Kautſchuck, firnißten dieſe Hülle und ſpannten ſie in bleierne oder eiſerne Röhren ſo auf, daß ſie ſich nicht berührten, worauf dann die Röhren mit Harz ausgegoſſen wurden. Jakobi ſchloß die Drähte in gläſerne Röhren ein, die einzeln mit Kautſchuck verbunden waren und 21 Zoll tief in die Erde gelegt wurden. Die Drähte ſelbſt waren einzeln mit Zwirn, darauf mit einer aus Harz, Wachs und Talg beſtehenden Miſchung überzogen, dann nochmals überſponnen und abermals mit dieſer Miſchung überzogen. Dennoch zeigte ſich hierbei eine ſtarke Nebenſchließung.

Luft- oder Stangenleitung. Seit Steinheil's Entdeckung der 232
Erdleitung wird bei den meiſten im Betrieb befindlichen Telegraphen nur ein einziger Draht als Leitung angewandt, und dieſer

a) entweder auf Stangen durch die Luft ausgeſpannt, oder

b) gehörig iſolirt unter der Erde weggeleitet.

Weber legte die erſte aus zwei neben einander laufenden nicht überzogenen Drähten beſtehende Leitung auf eine Strecke von 6000 Fuß durch die Luft; 4 Jahre ſpäter ſpannte Steinheil ſeine zwei Drahtzüge auf eine Strecke von 15250 Fuß hoch durch die Luft aus, indem er ſie innerhalb der Stadt München in Abſtänden von 3 und 10 Fuß befeſtigte, über Strecken aber, wo keine hohen Gebäude vorhanden waren, durch 40 — 58 Fuß hohe Floßbäume unterſtützte. An den Auflegepunkten war nur Filz untergelegt, die Iſolation alſo höchſt unvollkommen.

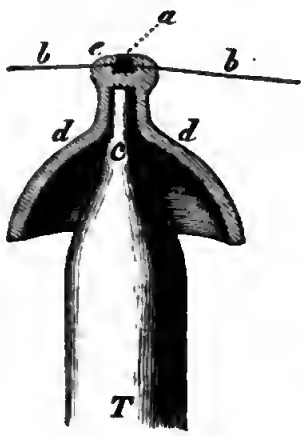
Gegenwärtig, wo die Erde einen Theil der Leitung ausmacht, werden in Entfernungen von 100 — 120 Fuß, 10 — 15 Fuß hohe, gegen 4 Zoll dicke Stangen von trockenem Fichten- oder Lerchenholz fest in die Erde eingegraben. Der Draht wird an der Stelle, wo er durch den oberen Theil der Stange hindurchgeht, mit einer isolirenden Platte von Gutta-Percha umwickelt, durch einen hölzernen Pflock festgekeilt und durch ein kleines Zinkdach gegen den Regen geschützt. Die Erfahrung hat jedoch nachgewiesen, daß auch diese Befestigungsweise nur mangelhaft isolirt und daß insbesondere bei anhaltend feuchter Witterung eine Ueberleitung des Stromes von den Stützpunkten an den Stangen herab zu dem Erdboden hin und umgekehrt stattfindet. Da gegen 240 solcher Stangen auf eine Meile kommen, so ist der Stromverlust, den eine so eingerichtete Leitung verursacht, von Station zu Station sehr bedeutend.

Breguet und Gounelle versahen jede Stange mit einer Rolle von Biskuit-Porcellan, auf der die Drähte ruhten und durch einen Schirmdach geschützt waren. Drähte und Stangen waren außerdem mit Marineleim überzogen.

Eine vorzüglich gute und jetzt durchgehends angewandte Isolir-Methode für Drahtleitungen auf Stangen ist folgende:

Die Tragstangen T (Figur 214) sind oben auf einem $1\frac{1}{2}$ Zoll starken, 6″ — 8″ langen Zapfen c abgespitzt und eine Porcellanglocke $d\,d$ aufgekittet. Oben im Porcellankopfe ist ein Einschnitt e, in welchen der Draht bb gelegt und mit etwas Blei in der Mitte der Erweiterung a festgegossen wird. Die innere Fläche der Glocke bildet hierbei eine stets trocken bleibende und daher isolirende Schichte zwischen der Stange T und dem Drahte $b\,b$. Auch bei dem ungünstigsten Wetter haben sich bei diesen Leitungen die Nebenschließungen an sehr empfindlichen Halske'schen Multiplicatoren häufig gleich Null ergeben.

Fig. 214.



Bei der im Winter 1849 von Siemens ausgeführten, 42 Meilen langen Leitung zwischen Eisenach und Frankfurt über Kassel wurden oben geschlossene Porcellantrichter auf eiserne Stangen so aufgekittet, daß die Glocke nach unten gerichtet war. Die eiserne Stange wurde an das obere Ende der hölzernen Pfosten geschraubt und der Draht an der äußeren Fläche des Trichters, durch Umwinden um den oberen dünnen Theil desselben, befestigt. Auch hier war die Isolation sehr vollständig.

Die Kosten einer solchen Leitung aus Kupfer kamen der preußischen Regierung pro Meile à 24,000 Fuß zu stehen:

An Draht 318½ Thlr., Stangen 110 Thlr., Eisenstützen für die Porcellanköpfe 45 Thlr., Porcellanköpfe 35 Thlr., Eingraben der Stangen 20 Thlr., zusammen **528½ Thlr.**

Die Kosten einer Stangenleitung aus Eisendraht stellen sich, nach Kramer, pro Meile à 24,000 Fuß auf 250 Rthlr.

Unterirdische oder Gutta-Percha-Leitung. — Die vielen Mängel, an denen eine gut isolirte Stangenleitung noch immer leidet und der Umstand, daß, je vollständiger die Isolation derselben ist, um so störender die Einflüsse der atmosphärischen Elektricität auftreten, veranlaßten die Techniker vielfach, die bei Seite gelegten Versuche mit unterirdischen Leitungen wieder aufzunehmen. Im Herbste 1847 vollendete W. Siemens (dessen Abhandl. über telegr. Leit. in Poggendorff's Annal., Bd. 79, S. 481) eine Versuchslinie von 1 Meile Länge, auf welcher der Kupferdraht in der gegenwärtig sehr bedeutenden Fabrik von Fonrobert und Pruckner in Berlin mit einer Hülle von gereinigter Gutta-Percha umpreßt war und 2 Fuß tief unter der Erde fortgeleitet wurde. Da es sich zeigte, daß die reine und wasserfreie Gutta-Percha in der feuchten Erde sich nach und nach an ihrer Oberfläche in ein Hydrat umwandelte, so wurde bei sämmtlich später angefertigten Drähten vulcanisirte (mit Schwefel vermischte) Gutta-Percha in Anwendung gebracht und zugleich die Umpressung mittelst einer durch Siemens und Halske angefertigten Maschine auf eine sehr vervollkommnete Weise (Dingler's Journ. Bd. 115, S. 260) bewerkstelligt. 233

Die fertigen Drähte werden zuerst durch die Arbeiter in Bezug auf Isolirung geprüft und unterliegen nach Ausbesserung der schadhaften Stellen einer nochmaligen strengen Prüfung durch sehr empfindliche Galvanometer. Ein Fehler in der Isolirung, welcher eine Nebenschließung bewirkt, die auf die Meile Draht ¼ Procent, also nur $^1/_{400}$ des ganzen Stromes beträgt, wird von der preußischen Regierung nicht mehr acceptirt. Gegenwärtig darf bei neu angelegten Leitungen der Nebenstrom bei am anderen Ende geöffneter, 10 Meilen langer Leitung nicht über 2½ Procent des bei geschlossener Kette vorhandenen Stromes betragen.

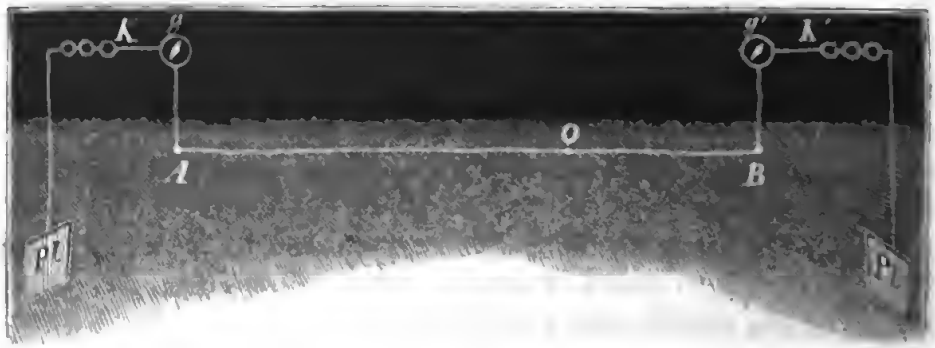
Das Einlegen des Drahtes geschieht auf eine einfache Weise der Art, daß man ihn in einen, am Rande des Eisenbahn-Plateaus hinlaufenden, zwei Fuß tiefen Graben lose hineinlegt, mit einer Lage Sand bedeckt und bevor noch der Graben zugeworfen wird, in Bezug auf Isolation einer Probe unterworfen wird. Die benachbarten Enden zweier Drahtadern werden blank geschabt, zusammengewunden, mit Zinn an einander gelöthet

und mit dünnen Platten der Gutta-Percha-Miſchung über Kohlenfeuer feſt überzogen.

Für das Auffinden eines einzelnen zwiſchen zwei Stationen auf irgend eine Weiſe entſtandenen Fehlers in der Leitung hat Siemens in der oben angeführten Abhandlung zwei Rechnungsmethoden angegeben, nach denen ſich die Fehlerſtelle ziemlich genau ergeben muß. Sind mehrere ſchadhafte Stellen vorhanden, was ſich ebenfalls durch dieſe Rechnung ergiebt, ſo erreicht man dieſelben durch fortgeſetztes Halbiren des Leitungsdrahtes und Prüfung der einzelnen Hälften in Bezug auf ihre Iſolation. Hat man auf dieſe Weiſe den Fehler innerhalb der Gränze von einigen Ruthen eingeſchloſſen, ſo bleibt nichts übrig, als den Draht bloß zu legen, wobei ſich der Fehler ergeben muß.

Es ſeien A und B Fig. 215 die Endpunkte der zu unterſuchenden Drahtleitung, g und K ein Galvanometer, und eine Säule, welche zwiſchen

Fig. 215.



A und der entſprechenden Erdplatte Pl eingeſchaltet iſt; eben ſo g' und K' ein Galvanometer und eine Säule zwiſchen B und Pl eingeſchaltet.

Die beſchädigte Stelle ſei bei O. Iſt nun der Leitungswiderſtand des Drahtes von A bis O gleich x, von O bis B gleich y; bezeichnet ferner m den reducirten Widerſtand der Drahtleitung zwiſchen A und Pl ſammt dem Widerſtand des Galvanometers g, der Säule K und dem Widerſtand der dieſe Platte umgebenden feuchten Schichten bis zur unendlichen Ausbreitung des Stromes, und endlich mit n die Summe der entſprechenden Widerſtände an der anderen Seite der Drahtleitung, ſo iſt die Stromſtärke, welche in dem Leitungsdraht kreiſen müßte, wenn bei O keine Beſchädigung ſtattfindet und die Leitung nirgends unterbrochen iſt,

$$s = \frac{2\,e}{x + y + m + n},$$

wenn e die elektromotoriſche Kraft einer Säule bezeichnet.

Unterbricht man die Leitung bei B, ſo wird man bei A gar keine Ab-

lenkung des Galvanometers beobachten, wenn zwischen A und B keine Beschädigung vorhanden ist; ist aber eine solche vorhanden, so zeigt sich eine Ablenkung, aus der sich die Stromstärke

$$s' = \frac{e}{m + x + z}$$

ergiebt, wenn z den Widerstand des Ueberganges von der bloßgelegten Stelle des Drahtes zur Erde oder den Widerstand der Nebenschließung bezeichnet.

Eben so ist

$$s'' = \frac{e}{n + y + z},$$

die durch das Galvanometer g' ermittelte Stromstärke, wenn die Leitung bei O unterbrochen ist.

Aus diesen drei Gleichungen e und z eliminirt, giebt

$$\begin{aligned} & s \,.\, s'' \,(x + y + m + n) - 2\, s'\, s'' \,(m + x) \\ = \;& s\, s' \,(x + y + m + n) - 2\, s'\, s'' \,(n + y), \end{aligned}$$

woraus

$$\frac{x + m}{y + n} = \frac{2\, s' s'' - s\, s' + s\, s''}{2\, s' s'' - s\, s'' + s\, s'}.$$

Da die Summe $x + y$ gleich der Länge der Leitung, mithin bekannt ist, so ergiebt sich aus dieser Gleichung sofort die Lage der Beschädigung.

Genauere Resultate giebt ein anderer Weg der Berechnung der Lage einer Beschädigung, bei welchem die Polarisation weit weniger störend auftritt und welche unabhängig ist von der elektromotorischen Kraft der Säule.

Es sei die Bedeutung der Buchstaben x, y, m, n und z die oben angegebene. Die Säule K' sei durch einen Draht von gleichem Widerstande ersetzt, so werden die beiden Galvanometer nicht gleiche Stromstärke anzeigen, wenn sich bei O eine Verletzung befindet, weil durch g' nur ein Theil des durch g gehenden Stromes hindurch geht. Es sei nun s die bei A, s' die bei B gemessene Stromstärke, so ist

$$s' = \frac{z}{y + n + z} \cdot s,$$

woraus

$$\frac{s}{s'} = \frac{y + n + z}{z}$$

oder

$$\frac{s - s'}{s'} = \frac{y + n}{z} \quad \ldots \quad 1)$$

Ist nun die Säule bei K' angebracht und K durch einen Draht von

gleichem Widerſtande erſetzt, ſo werden ſich bei B und A die Stromſtärken σ und σ' ergeben und man hat dem oberen entſprechend

$$\frac{\sigma - \sigma'}{\sigma'} = \frac{x + m}{z} \quad \ldots \quad 2)$$

die Gleichung 2) durch die Gleichung 1) dividirt, giebt

$$\frac{x + m}{y + n} = \frac{(\sigma - \sigma')\, s'}{(s - s')\, \sigma'},$$

wodurch die Lage der Beſchädigung beſtimmt iſt.

Hinſichtlich der mit m und n bezeichneten Conſtanten iſt noch zu erwähnen, daß dieſelben bei der hier in Betracht kommenden annähernden Beſtimmung der Lage der Beſchädigung einer ausgedehnten telegraphiſchen Leitung ohne große Beeinträchtigung der Genauigkeit ganz vernachläſſigt werden können, wenn man große im freien Waſſer liegende Platten, Säulen und Galvanometer von geringem Widerſtande anwendet. Bei Erdplatten, welche im feuchten Erdboden liegen, iſt der Widerſtand des Ueberganges der Elektricität von den Platten zum unbegränzten feuchten Leiter, als welche die Erde auftritt, natürlich unverhältnißmäßig viel größer, doch kann man alsdann, wenn man an beiden Enden gleiche und unter gleichen Verhältniſſen befindliche Platten hat, für jede ohne Nachtheil den halben gemeſſenen Erdwiderſtand annehmen.

Die Koſten der Gutta-Percha-Umpreſſung ſind gegenwärtig noch bedeutend und machen zur Zeit die unterirdiſche Leitung weit koſtſpieliger, als eine gleich lange Stangenleitung ſein würde. Die Kupferdrähte koſten 48½ Rthlr. pro Centner, 100 Fuß preuß. dürfen nicht weniger als 65 Loth wiegen. Hiernach wiegt der Draht für 1 Meile preuß. gegen 4½ Centner. Die Gutta-Percha-Hülle wiegt eben ſo viel als der Draht, das Eingraben der Drähte koſtet durchſchnittlich 200 Thlr. pro Meile, ſo daß die Meile der unterirdiſchen Leitung zu ſtehen kommt: an Draht 4½ Centner à 49 Rthlr. = 220 Thlr., an Gutta-Percha-Ueberzug 720 Rthlr., an Arbeitslohn 200 Rthlr., zuſammen **1140 Thlr.**

234 **Die Erdleitung.** Der Antheil, den die bei telegraphiſchen Linien einen Theil der Leitung ausmachende Erdſchichte an der geſammten Leitung und dem dadurch entſtehenden Widerſtande hat, iſt bis jetzt noch nicht genügend ermittelt worden. Die Verſuche, welche Breguet (Compt. rend. XXI. 760) auf der aus zwei Kupferdrähten, einem Eiſendrahte und Erdplatten beſtehenden Linie zwiſchen Paris und Rouen angeſtellt hat und die ſo angeordnet waren, daß der Strom derſelben Batterie bald die beiden Kupferdrähte, bald den einen Kupferdraht und die Erde, bald auch den Eiſendraht und die Erde durchlaufen mußte, ergaben das Reſultat,

daß der Widerstand der Erde so gering sei, daß er gegen den des Leitungsdrahtes fast ganz vernachlässigt werden könne und daß demzufolge die Intensität eines aus derselben Batterie erzeugten Stromes beinahe doppelt so groß sei, wenn er zur Hälfte durch den Draht, zur Hälfte durch die Erde geleitet wird, als wenn er zwei Drähte durchlaufen muß. Es war u. a. die Intensität des Stromes, geleitet durch einen Kupferdraht und die Erde zu Paris 56,8, geleitet durch zwei Kupferdrähte nur 29,1; zu Rouen betrug die Intensität desselben Stromes, geleitet durch einen Kupferdraht und die Erde 35,1, geleitet durch zwei Kupferdrähte 17,8. Ein ähnliches Ergebniß stellte sich bei den übrigen 27 Versuchen heraus.

Mateucci (Compt. rend. XIX. 845) stellte bei Anwesenheit der italienischen Naturforscher in Mailand Versuche über denselben Gegenstand an; er leitete nach einander den Strom aus derselben Batterie durch 12,500 Meter Draht in der Luft, dann durch 12,500 Meter Draht in der Luft und 12,500 Meter Erde, endlich durch 25,000 Meter Draht in der Luft und fand das Intensitäts-Verhältniß 30 : 27 : 17. Hiernach ist die Intensität eines durch die Erde geleiteten Stromes zwar bedeutend stärker, als wenn die ganze Leitung aus Draht besteht, allein sie ist keineswegs das Doppelte und der Leitungswiderstand der Erde ist gegen den im Drahte nicht als verschwindend anzusehen.

Es ist nur zu bedauern, daß weder die Versuche von Breguet noch von Mateucci mit derjenigen Sorgfalt und Umsicht angestellt worden sind, welche eine solche Untersuchung erfordert; die Richtigkeit der vorstehenden Resultate ist auch mehrfach angefochten worden und sie berechtigen nur zu dem summarischen Schlusse, daß die Intensität des Stromes bei Anwendung der Erdleitung viel größer ist, als bei einer doppelten Drahtleitung, oder daß der Widerstand des feuchten Erdreichs von unbekanntem Querschnitte viel kleiner ist, als der eines gleich langen Kupferdrahtes von der bei den Telegraphenlinien üblichen Dicke.

Baumgartner (Pogg. Bd. 80, S. 374 und S. 381) hat es versucht, durch die Benutzung der zwischen Wien und Gänserndorf (14,800 Klft.) vorhandenen doppelten Drahtleitung die Größe des Leitungswiderstandes der Erde numerisch zu bestimmen. Er schaltete in die Drahtleitung, welche mit dem einen Ende in Wien, mit dem anderen in Gänserndorf in die Erde versenkt ist, ein kleines Zink-Platin-Element und eine sehr empfindliche Sinusbousole ein und beobachtete unter den bekannten Vorsichtsmaßregeln die Größe des Ablenkungswinkels. Hierauf ließ er sowohl in Wien, als in Gänserndorf die Verbindung des Drahtes mit den Erdplatten aufheben und seine Enden mit dem zweiten Drahte verbinden, und beobachtete auch in diesem Falle, wo der Strom durch zwei Drähte

geleitet wurde, den Ablenkungswinkel. Bei drei hinter einander angeſtellten Verſuchen ergaben ſich folgende Ablenkungen:

	1. Verſuch.	2. Verſuch.	3. Verſuch.	Durchſchnitt.
1) Als der Strom im Drahte hin- und herging	20°	22°	19½°	20° 30′
2) Als der Strom im Drahte hin- und durch die Erde zurück ging.	33°	32½°	31°	32° 10′

Aus dieſer Beobachtung ergiebt ſich durch eine leichte Rechnung, daß der Leitungswiderſtand eines Kupferdrahtes von der Länge = 1 und 1‴ Dicke, **3,14mal** größer iſt, als der eines gleich langen vom Strome durchfloſſenen Theiles des Erdkörpers von unbekanntem Querſchnitt. Aber auch dieſes Reſultat hat keinen Anſpruch auf Genauigkeit, und in ſpäteren Verſuchen, die derſelbe Gelehrte auf den weit größeren Strecken zwiſchen Wien und Gloggnitz (faſt 11 Meilen), ſo wie zwiſchen Wien und Gratz (28 Meil.) in der eben beſchriebenen Weiſe angeſtellt hat, ergeben ſich für dieſelben Werthe die Zahlen:

a) auf der Wien-Gloggnitzer Strecke 6,98,

b) auf der Wien-Gratzer Strecke 4,70.

Hiernach ſcheint der Leitungswiderſtand des Erdreichs, der im Verhältniſſe zu dem des Kupferdrahtes keineswegs verſchwindend klein iſt, nicht von der Entfernung der Stationen allein, ſondern auch von der geognoſtiſchen Beſchaffenheit der zwiſchen den Erdplatten befindlichen Erdſchichten abhängig zu ſein. Uebrigens iſt bei allen vorgenannten Verſuchen der Antheil, den die an den Erdplatten auftretende galvaniſche Polariſation an der Schwächung des Stromes hat, ganz unberückſichtigt geblieben.

Die auffallende Erſcheinung der Erdleitung und beſonders die Reſultate der franzöſiſchen Phyſiker, daß der Widerſtand der Erde für große Strecken beinahe gleich Null ſei, haben zu noch auffallenderen Anſichten über die Rolle, welche die Erde bei dieſen Vorgängen ſpiele, Raum gegeben.

Arago (Compt. rend. XX. 1604) überreichte der Akademie ein Schreiben von de Teſſan, Guillemin und de Girard, worin dieſe die Anſicht aufſtellen, daß die Erde nicht als Leiter, ſondern als großes Reſervoir auftrete, welches die an den Erdplatten frei werdenden Elektricitäten in ſich aufnehme und bewirke, daß ſich dieſelben in ihrem weiten

Schooße verlören. Am meiſten hat Abbe Moigno (tr. de tel. el. 1849 p. 211) dieſe Anſicht zu begründen geſucht, wobei er ſich auf die Autorität von Gauß ſtützt, welcher ebenfalls annähm, daß, wenn die Enden eines einzigen Drahtes, anſtatt ſich in der Erde auszubreiten, an zwei ganz iſolirte Himmelskörper, die ein ähnliches elektriſches Verhalten zeigten wie unſere Erde, befeſtigt würden, ein Strom dieſen Draht durchlaufen würde, und zwar mit einer doppelt ſo großen Intenſität, als wenn er ſich durch zwei zwiſchen ihnen ausgeſpannten Drähten bewegte.

Mateucci ſuchte der Sache auf den Grund zu kommen und brachte faſt in gerader Linie 4 Brunnen an, von denen die beiden äußeren 160 Meter von einander entfernt und durch einen Kupferdraht mit eingeſchalteter Batterie verbunden waren; die Entfernung der beiden inneren Brunnen von einander betrug 30 Meter, und von den äußeren Brunnen 80 und 50 Meter. Die Enden eines empfindlichen Galvanometers tauchten in die beiden mittleren Brunnen. Sobald die Batterie geſchloſſen wurde, zeigte ſich ſofort eine Ablenkung der Nadel im Galvanometer um 35° bis 40°. Wurde die Richtung des Stromes umgekehrt, ſo wurde auch die Nadel im entgegengeſetzten Sinne abgelenkt.

Ein ähnliches Experiment war ſchon früher von Steinheil (deſſen Vorleſung über Telegr., München 1838) mit gleichem Erfolge angeſtellt worden.

Dieſe Verſuche, wenn ſie auch nicht die vorliegende Frage erſchöpfend erledigen und weit beſſer und mannichfaltiger hätten angeſtellt ſein können, zeigen doch unzweideutig, daß wenigſtens für den Fall, wo die Entfernung der Erdplatten nicht ſehr bedeutend iſt, die Erde als Leiter, nicht als Reſervoir, auftritt. Was hindert uns nun, dieſe Annahme auch auf den Fall der größeren Entfernung auszudehnen? —

Störungen durch die atmoſphäriſche Elektricität. — Telegraphiſche Blitzableiter. Einer der ſchlimmſten Feinde der elektriſchen Telegraphen, wenigſtens bei gut iſolirten oberirdiſchen Leitungen, iſt die atmoſphäriſche Elektricität. Eine längere oberirdiſche Leitung wird faſt in jedem Sommer einmal vom Blitz getroffen, der dann die Tragpfoſten, zuweilen auch einen Theil des Drahtes und die Inſtrumente zerſtört oder beſchädigt. 235

Henry (Dingl. Journ. Bd. 104, S. 265) hat die wichtigſten Erſcheinungen dieſer Art auf vier Hauptquellen zurückgeführt:

Erſtens kann der Draht, der nach Steinheil's Ausdrucksweiſe einen Blitzableiter von coloſſalen Dimenſionen bildet, aus denſelben Urſachen von einem Blitzſchlage getroffen werden, aus denen hoch und vereinzelt liegende metalliſche Körper dem Blitze ſo ſehr ausgeſetzt ſind.

Zweitens kann auch ohne Vorhandenſein einer Gewitterwolke durch die Verſchiedenheit des elektriſchen Zuſtandes der Atmoſphäre an zwei verſchiedenen, weit von einander entfernten Stellen der telegraphiſchen Linie ein dauernder galvaniſcher Strom in dem Drahte entſtehen.

Sowohl Henry, als auch Baumgartner (Pogg. Ann. 1849. Nro. 1. S. 135) und Siemens (Pogg. Ann. Bd. 79, S. 484) haben vielfach beobachtet, daß ein in die Leitung ohne Batterie eingeſchaltetes Galvanometer faſt zu jeder Zeit ziemlich heftige Ströme von veränderlicher Stärke und Richtung anzeigt, die z. B. auf der Linie von Eiſenach nach Kaſſel im Sommer, während der Mittagszeit ſo heftig und veränderlich werden, daß der Dienſt auf mehrere Stunden unterbrochen wird. Sind die beiden Enden des Drahtes iſolirt, ſo zeigt er immer eine beträchtliche Ladung freier Elektricität, die um ſo ſtärker werden kann, wenn an dem einen Ende Regen oder Schnee fällt, während am anderen Ende die Luft heiter bleibt. In gebirgigen Gegenden iſt dieſe Art Luftelektricität ganz beſonders eine ſtarke Quelle von Störungen für den Telegraphen.

Drittens kann die natürliche Elektricität des Drahtes durch die Induction einer entfernten Wolke geſtört werden. Auf längeren Linien hört in den Sommermonaten in der Regel der übereinſtimmende Gang der correſpondirenden Apparate ſchon auf, wenn ſich Gewitterwolken am Himmel zeigen, und Baumgartner bemerkt, daß der Indicator-Zeiger (am Nadelapparate) bleibend abgelenkt wird, wenn ſelbſt in bedeutender Entfernung Gewitterwolken an der Telegraphenlinie vorbeizogen.

Viertens werden kräftige Ströme in dem Leitungsdrahte durch die Einwirkung dynamiſcher Induction von jedem Blitzſtrahle erzeugt, der im Umkreiſe von vielen Meilen der Linie ſtattfindet. Es iſt dieſes Phänomen daſſelbe, was man ſonſt auch wohl mit dem Namen des Rückſchlages bezeichnet; es äußert ſich meiſtens ſehr lebhaft, ja in den öſterreichiſchen Nadelapparaten zuweilen bis zur Umkehrung der Nadelpolarität. Oft, wenn das Gewitter ſchon mehrere Meilen weit von der Drahtleitung entfernt iſt, zeigt ſich in den Galvanometern oder auch an den Elektromagneten der Zeichengeber bei jedem Blitzſchlage ein ſehr heftiger Strom.

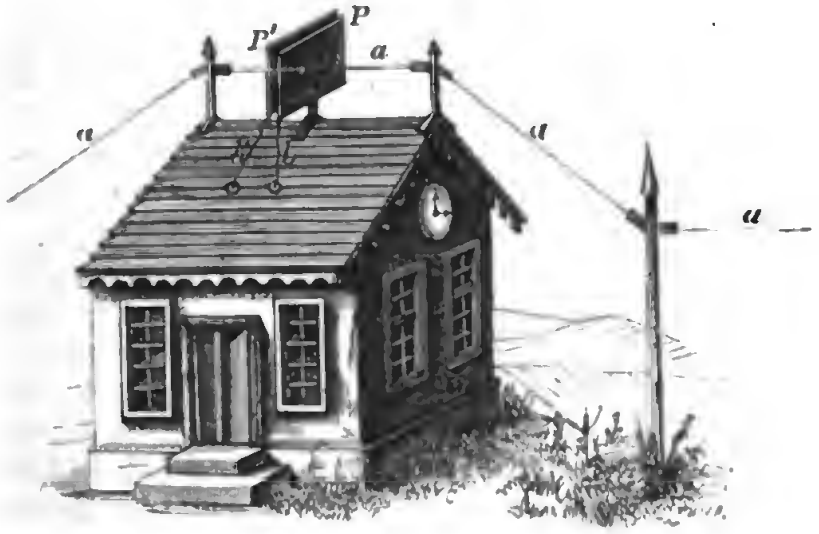
Alle dieſe Erſcheinungen, mit alleiniger Ausnahme der durch Induction hervorgebrachten, treten bei den Stangenleitungen bei weitem häufiger und ſtärker auf, als bei den unterirdiſchen; daher auch die Anwendung der letzteren Art von Leitungen das beſte Mittel iſt zu ihrer Beſeitigung. Gegen die Einflüſſe der inducirten Elektricität ſchützt auch die unterirdiſche Leitung nicht, wie die Erfahrung auf dieſer Art von Linien jeden Sommer reichlich lehrt.

Steinheil ſcheint zuerſt den Gedanken, die Zeichengeber der Luftelektricität zu entziehen, zur Ausführung gebracht zu haben. Er beob-

achtete, daß der in den Drahtrollen überſpringende Funke lieber die kleine Schlagweite von Windung zu Windung wählt, als den Umweg durch den Draht zu machen, während im Gegentheil der Strom eher eine continuirliche Kette von vielen hundert Meilen durchläuft, als daß er auf ganz kurzem Wege den Kreislauf mittelſt Ueberſpringens über eine in der Leitung befindliche, noch ſo kleine Unterbrechung vollende.

Hiernach richtete Steinheil im Jahre 1846 auf der München-Nanhofener Linie ſeine Blitzableiter ſo ein, daß der Leitungsdraht *aa* (Fig. 216) über dem Stationshauſe durchſchnitten und ſeine Enden an zwei bloß durch

Fig. 216.



ein feines Seidenzeug getrennte Kupferplatten P, P' angelöthet wurde. Zwei feine Drähte b, b' führten von dieſen Platten zu dem Telegraphen-Apparate. Die atmoſphäriſche Elektricität nahm in dieſem Falle den kürzeſten Weg von P zu P' durch Ueberſpringen und würde im ungünſtigſten Falle die feinen Drähte b, b' abgeſchmolzen haben, bevor ſie zu dem Zeichengeber gelangte, während der galvaniſche Strom nur auf dem Wege $a\,a\,P\,b — b'\,P'\,a$ oder umgekehrt circuliren konnte, und daher allemal die Zeichengeber berühren mußte. — Seit der Einführung dieſer Ableiter wurde auf der genannten Linie ſelbſt bei den heftigſten Gewittern in den Drahtrollen kein Kniſtern noch Funkenſprühen mehr bemerkt.

Breguet (Compt. rend. Bd. 24, S. 21) und Fardely (Dingl. Jour. Bd. 109, S. 113) haben ähnliche Vorrichtungen zur Ausführung gebracht; am vollendetſten jedoch ſind die vom Profeſſor Meißner in Braunſchweig auf der dortigen Telegraphenlinie ausgeführten Schutz-

platten, die in Fig. 217 und 218 abgebildet ſind. Der Leitungsdraht *L* wird im Stationsgebäude auf eine 18″ lange, 14″ breite, $^2/_8$″ dicke Kupferplatte *A* geleitet und feſtgeſchraubt. Von *A* führt ein iſolirter dünner Draht *l* nach dem Telegraphen, von welchem ein anderer feiner Draht durch die Batterie führt und bei *E* an eine zweite Kupferplatte *BB* geſchraubt iſt, von dieſer endlich geht von der Klemme *a* aus ein ſtärkerer Draht *e* nach der Erde. Beide Platten ſind, wie Fig. 218 zeigt, zwar auf einander geſchraubt, aber ſo, daß ſie nirgendwo in metalliſcher Verbindung unter einander ſtehen, was dadurch erreicht wird, daß durch die correſpondirenden Löcher *n* Röhrchen aus Elfenbein und zwiſchen den beiden Platten kleine $^1/_8$ Linie dicke Scheibchen aus Gutta-Percha auf die durchgehenden Röhrchen geſtellt ſind, welche die Platten *A* und *B* beim Anſchrauben auseinander halten. Das Brett, auf welchem die Platten ſich befinden, wird an der Wand befeſtigt.

Fig. 217.

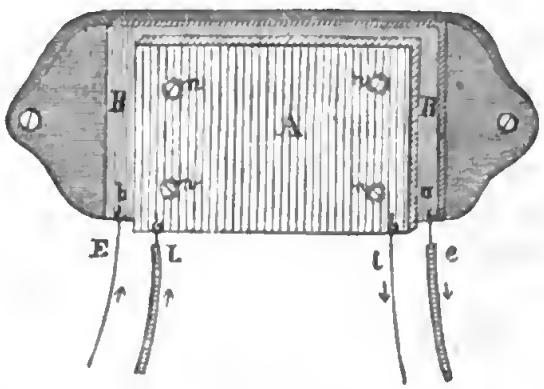
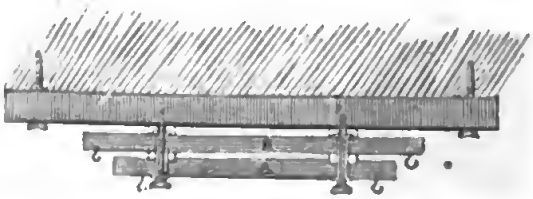


Fig 218.



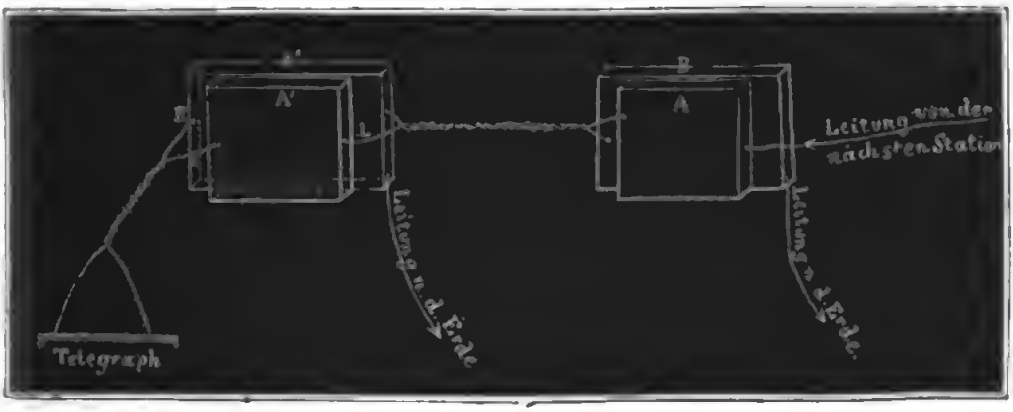
Grundriß.

Das galvaniſche Fluidum, durch *L* von der entfernten Station kommend, gelangt hierbei zunächſt auf *A*, von da durch *l* zu dem Telegraphen und der Batterie, von da durch *E* auf *B* und endlich von hier durch *e* in die Erdplatte und durch die Erde zur andern Station zurück. Sobald ſich aber in dem Leitungsdraht eine gewiſſe Menge atmoſphäriſcher Elektricität anſammelt, ſtrömt dieſe ebenfalls zunächſt auf die Platte *A* und wählt durch Ueberſpringen auf *B* den nächſten Weg zur Erde, anſtatt den größern Weg durch die Umwickelungsdrähte der Elektromagnete zu nehmen.

Vielfache Beobachtungen haben ergeben, daß durch Anwendung ſolcher Blitzableiter die telegraphiſche Correſpondenz, ſelbſt bei heftigen Gewittern, unterhalten werden kann; während ununterbrochen die Funken von der Platte *A* nach *B* überſprühen, kann die Correſpondenz mit den Zeigerapparaten ungeſtört vor ſich gehen. Zu noch größerer Sicherheit werden zwei

ſolcher Schutzplatten-Vorrichtungen in die Leitung eingeſchaltet in der Art, wie Fig. 219 zeigt

Fig. 219.



Das galvaniſche Fluidum nimmt dann die Richtung von der entfernten Station zu *A*, durch einen feinen Draht zu *A'*, durch den Telegraph zu *B'*, von hier theils ſchon direct, theils noch weiter über *B* in die Erde u. ſ. w., während die atmoſphäriſche Elektricität zum größten Theile ſich ſchon durch Ueberſpringen von *A* auf *B* in die Erde verliert, der Reſt aber nach *A'* gelangend von hier auf *B'* überſpringt und ſich von dort ebenfalls in die Erde ergießt, ohne den Telegraphen zu berühren.

Man begnügt ſich indeſſen keineswegs damit, die Apparate in den Stationsgebäuden gegen die Wirkung der Luftelektricität zu ſichern, ſondern man ſtellt in geeigneten Abſtänden, beſonders in der Nähe der Endpunkte der Leitung, Metallſtücke, die durch das Schirmdach oder unter der Höhlung des Porzellantrichters gegen Näſſe geſchützt ſind, einander ſehr nahe gegenüber. Das eine dieſer Stücke wird mit dem Erdboden, das andere mit dem Drahte leitend verbunden; die atmoſphäriſche Elektricität des Drahtes wird dadurch von dem einen Metallſtück auf das andere überſpringen und der größte Theil derſelben verliert ſich auf dieſe Weiſe in die Erde, ehe ſie die Endpunkte der Leitung erreicht.

Die galvaniſchen Uhren. Schon im Jahre 1839 brachte Stein-236
heil an den im Königl. Inſtitut für junge Damen zu München befindlichen Uhren die Vorrichtung an, daß die Uebereinſtimmung ſämmtlicher, durch einen Leitungsdraht mit der Normaluhr verbundener Uhren in regelmäßigen Zwiſchenräumen, z. B. am Ende einer jeden Stunde, hergeſtellt wurde. Ein Jahr ſpäter nahm Wheatſtone ein Patent auf eine ſeinem Zeigertelegraphen ganz nachgebildete galvaniſche Uhr, während faſt gleichzeitig Bain auftrat, um die Ehre der erſten Erfindung einer galvaniſchen

Uhr für sich in Anspruch zu nehmen. Seitdem haben sich insbesondere Wadham, Pernell, Weare, Fardely, Gläsener, Breguet, Garnier, endlich in der allerneuesten Zeit Stöhrer mit der Verbesserung und Vervollkommnung dieser Apparate beschäftigt.

Man kann sämmtliche galvanische Uhren in zwei Klassen theilen: entweder wird die galvanische oder die elektro-magnetische Kraft dazu verwandt, in einer gewöhnlichen Uhr das Gewichtwerk zu ersetzen, also ein Pendel oder eine Unruhe, ohne irgend eine Feder- oder Gewichtkraft in lange anhaltende Bewegung zu versetzen, oder die Uhren sind bloß Zeittelegraphen, in denen eine durch Gewicht- oder Federkraft im Gange erhaltene Normaluhr ihre Zeit auf entfernt stehende und durch einen Leitungsdraht mit ihr verbundene secundäre Apparate überträgt.

Als Repräsentant der erstern Art von Uhren, die keine wesentlichen Vorzüge vor den gewöhnlichen Gewicht- oder Federuhren darbieten, wählen wir das Pendel von Bain. In Fig. 220 bezeichnet *B* eine auf der Holzplatte *A* befestigte Kupferplatte, an welcher das Pendel *D* aufgehängt ist. Von dem untern Ende der Aufhängefeder läuft ein gut isolirter feiner Kupferdraht an der Pendelstange herab, windet sich auf einer Holzspuhle zu einer Spirale, welche die Stelle der Linse vertritt, und endigt an dem obern Theile der Pendelstange an der Feder *H*, mit welcher er in metallischer Berührung steht. Diese Feder trägt ein Platinknöpfchen *E*, welches dem Kupferplättchen *I* gegenübersteht und mit ihm in Berührung tritt, wenn die Spirale gegen *S* angelehnt wird.

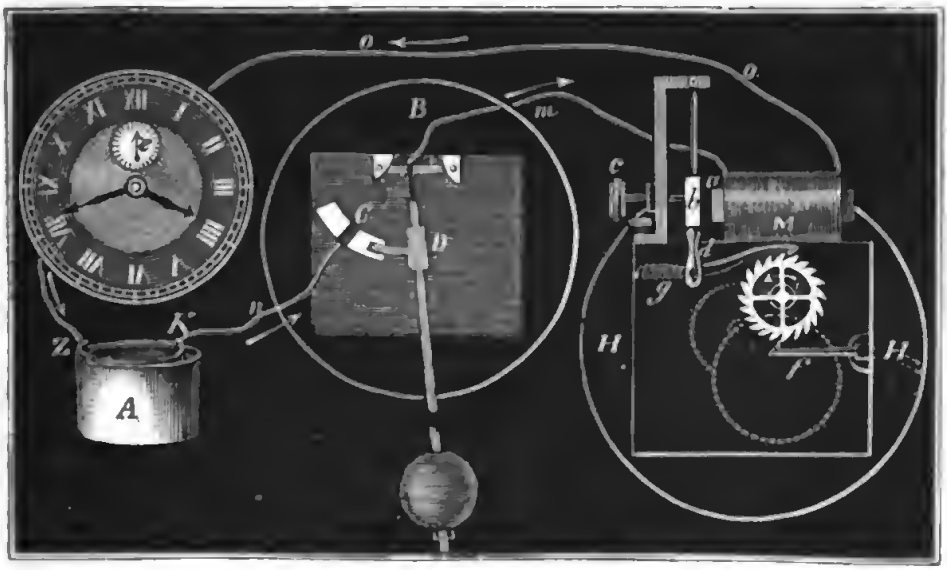
Fig. 220.

C, *C'* sind zwei Stahlmagnete, *N* ein Nord-, *S* ein Südpol. Bain setzte das Pendel durch eine Erdbatterie in Bewegung; er grub eine Kupferplatte *K* und eine Zinkplatte *Z* in den feuchten Erdboden ein und erhielt einen Strom, stark genug, um die Uhr im Gange zu erhalten. Der Strom verfolgt nämlich, sobald man zuerst die Spirale gegen *S* annähert und dadurch *E* mit *I* in Berührung bringt, die Richtung der Pfeile von *K* zu *B* und durch die

Aufhängefeder zu der Spirale, dann über *H*, *E* und *I* zu *Z*. Die Art der Windungen um die Spuhle iſt nun von der Art, daß die Spirale von *S* abgeſtoßen, von *N* aber angezogen wird. Das Pendel ſchwingt alſo nach der Linken, wodurch der Strom wegen der Trennung der Contactſtücke *E* und *I* unterbrochen iſt. Beim Zurückſchwingen nach der Rechten kommt aber *E* wieder mit *I* in Berührung und das Pendel erhält dadurch einen neuen Impuls nach der Rechten. So dauert die Bewegung, die nun durch Räder auf die Zeiger übertragen wird, ununterbrochen fort, ſo lange das Element *K Z* in ſeiner Kraft aushält.

Als Repräſentant der zweiten Klaſſe von elektriſchen Uhren möge wieder das Syſtem von Bain dienen, welches in Fig. 221 abgebildet iſt.

Fig. 221.

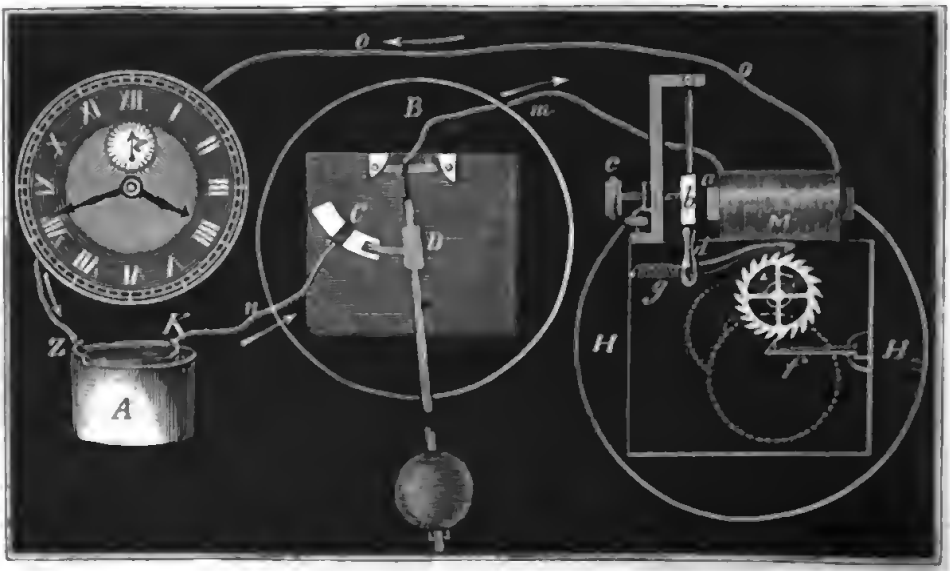


B bezeichnet die hintere Seite der Normal-Uhr, deren Pendel halbe Secunden ſchlägt. *C* iſt ein Elfenbeinſtreifen, der durch ein eingelegtes Kupferſtück in zwei Theile getheilt iſt. Auf der Pendelſtange ſitzt die Metallfeder *D*, welche bei der Bewegung des Pendels über den Elfenbeinſtreifen *C* gleitet und bei der äußerſten Lage des Pendels mit dem eingelegten Metallſtück in Contact zu ſtehen kommt; letzteres iſt durch einen Draht *n* mit dem poſitiven Pol *K* der Batterie *A* verbunden.

Von der Aufhängefeder des Pendels, die mit *D* in metalliſchem Contacte ſteht, geht ein Draht *m* nach dem Elektromagneten *M* der erſten galvaniſchen oder ſecundären Uhr *HH*; das Ende des Umwindungsdrahtes von *M* iſt mit dem nach der zweiten Uhr hinlaufenden Leitungsdrahte *oo* verbunden, der in gleicher Weiſe mit dem Elektromagneten dieſer Uhr ver-

kunden iſt, wie *m* mit *M*; von der letzten galvaniſchen Uhr geht das Ende des Umwindungsdrahtes ihres Elektromagneten zu dem negativen Pole *Z*

Fig. 222



der Batterie *A*. Es befinden ſich demnach die Elektromagnete ſämmtlicher ſecundärer Apparate in derſelben Leitung und alle ſind gleichzeitig vom Strome der Batterie afficirt, ſobald durch den Contact der Feder *D* mit dem Metall *C* die Batterie geſchloſſen wird; die bezeichneten Pfeile bezeichnen die Richtung des Stromes.

HH bezeichnet die innere Einrichtung einer ſecundären Uhr: *b* iſt der Anker des Elektromagneten, an deſſen freiem Ende *d* eine hakenförmige Klinke befeſtigt iſt, deren Haken in die Zähne eines Rades *e* eingreift. Der Sperrhaken *f* verhindert eine rückgängige Bewegung dieſes Rades. Die Schraube *c* regulirt die Gangweite des Hakens und die Feder *g* zieht denſelben in ſeine Ruhelage zurück, wenn er nicht mehr von dem Elektromagneten angezogen wird.

Der Gang der Uhren erfolgt nun in folgender Weiſe:

Sobald das Pendel beim Anfange der erſten Secunde nach der Linken bewegt und dadurch *D* mit dem Kupferſtück *C* in Berührung gebracht wird, iſt die Batterie *A* geſchloſſen. In allen ſecundären Uhren wird daher der Anker *b* von *a* angezogen und der Haken *d* legt ſich in die nächſte Zahnlücke des Rades *e* ein. Sobald aber gleich darauf das Pendel zurückſchwingt und *D* auf Elfenbein kommt, iſt der Strom unterbrochen, die Feder *g* zieht den Haken *d* zurück und dieſer nimmt einen Zahn des Rades *e* mit. Erſt nach Vollendung der erſten Secunde kommt *D* wieder

auf das Kupferstück *C* zu stehen; die Batterie ist wieder geschlossen und es legen sich die Haken *d* sämmtlicher secundärer Uhren in die folgenden Zahnlücken des Rades *e* ein u. s. w. Man sieht, wie dieses Spiel des Hakens *d* sich mit jeder Secunde wiederholt und das Rad *e*, wenn es 60 Zähne hat, sich genau in einer Minute umdrehen muß. Der Zeiger desselben giebt daher die Secunden an; die Bewegung des Minuten- und des Stundenzeigers erfolgt dann von dem Rade *e* aus, wie bei den gewöhnlichen Uhren.

Garnier's Uhren sind bereits mehrfach im Großen in Anwendung; sie setzen ebenfalls eine Normaluhr voraus, in welcher nicht das Pendel selbst, sondern ein besonderes Rad alle 5 oder 6 Secunden einmal die Batterie schließt. Die secundären Uhren, die in Fig. 223 abgebildet sind, zeichnen sich durch einen sehr sichern Gang aus, der durch die eigenthümliche Construction des Hemmungsrades erhalten wird

Fig. 223.

Fig. 224.

M der Anker des Elektromagneten, der alle 5—6 Secunden in Folge des durch die Normaluhr erzeugten Stromes angezogen wird und dann

an der Stange *I* den Arm *f* des Winkelhebels *f F G* (s. Fig. 225) niederzieht. Der obere Theil dieses Hebels enthält den Haken *G*, welcher in den Zahnlücken des Rades *B* liegt und es um einen Zahn nach der Richtung des Pfeiles dreht, sobald *f* niedergeht und dadurch *G* nach der Rechten geschoben wird. Zugleich legt sich dabei der Haken *H* in die Zähne des Rades *B* ein, um zu verhüten, daß nie zwei Zähne zugleich durch *G* fortgezogen werden können; während der Sperrhaken *E* eine rückläufige Bewegung dieses Rades *B* nicht zuläßt. Die Bewegung des Rades *B*, die durch diese Vorkehrungen sehr bestimmt wird, überträgt sich mittelst eines Systems von Rädern auf den Minuten- und Stundenzeiger.

Fig. 225.

Gegenwärtig beschäftigt sich Stöhrer, der bereits im Jahre 1849 mit dem Uhrmacher W. Scholle ein Patent auf ein neues System elektrischer Uhren genommen hat, vielfach mit diesem Gegenstande, und bereits befindet sich eine ziemliche Anzahl von seinen Apparaten in Leipzig, in Berlin u. a. O. im Betriebe.

237 **Galvanisch registrirende Uhren** sind zuerst in Nordamerika vor ungefähr anderthalb Jahren von Professor Locke erfunden und in Anwendung gebracht worden. Um von dieser sinnreichen Benutzung des Galvanismus, welche für die Astronomie von der größten Bedeutung zu werden verspricht, unsern Lesern einen Begriff zu geben, folgt hier, was Lamont in seinem astronomischen Kalender für das Königreich Baiern auf das Jahr 1852 Seite 153 darüber sagt:

»Zu einer galvanisch registrirenden Uhr braucht man als Haupttheil »eine gewöhnliche astronomische Uhr mit folgender specieller Einrichtung:

»Die Axe, an welcher der Secundenzeiger der Uhr festgemacht ist, trägt »(hinter dem Zifferblatte) ein besonderes Rad mit 60 Zähnen: so oft eine »Secunde springt, bewirkt ein Zahn dieses Rades eine augenblickliche »Schließung einer galvanischen Kette, in welcher sich ein Elektromagnet »befindet.

»In dem Momente, wo die Kette geschlossen wird, zieht der Elektro»magnet seinen Anker an, dabei macht ein mit dem Anker verbundenes »spitziges Hämmerchen einen Punkt auf einen darunter befindlichen Papier»streifen.

»Da der Papierstreifen mittelst eines Laufwerkes mit gleichmäßiger »Geschwindigkeit sich unter dem Hämmerchen vorwärts bewegt, so wird »auf solche Weise eine Reihe von Punkten (nach Locke's Einrich-

»tung ungefähr einen Zoll auseinander) auf dem Papierſtreifen entſtehen, »welche die Zeitſecunden vorſtellen. Dieſe nennt man Se»cundenpunkte.

»Das Rad, welches die Schließung der Kette bewirkt, iſt ſo eingerichtet, »daß bei der 60ſten Secunde die Schließung etwas länger dauert; es ent»ſteht demnach bei jeder Minute auf dem Papiere anſtatt des Punktes »ein kurzer Strich. Auf ſolche Weiſe werden die vollen Minuten er»kennbar gemacht.«

»Dies iſt die ganze Einrichtung, ſo weit die Uhr einzuwirken hat: der »Zweck geht dahin, daß die Secunden aufgezeichnet werden.

»Neben dem eben beſprochenen Elektromagnet iſt aber ein zweiter feſtge»macht, der ebenfalls mit Anker und Hämmerchen verſehen iſt und einer »Kette angehört, die der Beobachter beliebig ſchließen kann, da»durch, daß er mit dem Finger auf eine Taſte (ähnlich einer Klaviertaſte) »anſchlägt. Die zwei Hämmerchen befinden ſich unmittelbar neben einander, »und ſo oft die Taſte angeſchlagen wird, macht das zweite Hämmerchen »einen Punkt in gleicher Weiſe wie das erſte; wenn man alſo wiederholt »anſchlägt, ſo entſteht auf dem Papierſtreifen eine zweite Reihe von Punk»ten neben der erſten Reihe — den Secundenpunkten — fortlaufend. »Dieſe werden Beobachtungspunkte genannt.

»Nach der gegebenen Erklärung wird man ſich den Gebrauch leicht vor»ſtellen können. Es ſei z. B. eine Sonnenfinſterniß zu beobachten, ſo »ſieht man durch das Fernrohr und hält den Finger an der Taſte, bis der »Mondrand die Sonne berührt. In dem Augenblicke, wo die Berührung »ſtattfindet, ſchlägt man die Taſte an und ein Punkt iſt auf dem Papier»ſtreifen gemacht.

»Nun ſieht man auf dem Papierſtreifen nach. Steht der Beobachtungs»punkt neben einem Secundenpunkte, ſo hat die Beobachtung mit der »Secunde zuſammengetroffen und der Anfang der Finſterniß tritt um ſo »viel Uhr, Minuten und Secunden ein. Trifft der Beobachtungspunkt »nicht neben einem Secundenpunkte, ſondern zwiſchen zwei Secunden »ein, ſo kann man mit dem Zirkel die Entfernung auf dem Papierſtreifen »abmeſſen und danach (mittelſt einer Scala) beſtimmen, wie viel Zehntel »und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächſt vorher»gehenden Secunde hinzukommen. So iſt es möglich, den Zeitpunkt einer »Beobachtung bis auf Hundertel-Secunden genau zu ermitteln.

»Dieſe große Genauigkeit der Ableſung iſt ein weſentlicher Vorzug »der galvaniſch regiſtrirenden Uhr.

»Auf ähnliche Weiſe wird verfahren, wenn man an einem Meridian»Inſtrument die Durchgänge der Sterne beobachtet. So oft der Stern »an einen Faden kommt, ſo ſchlägt man die Taſte an und kann auf dem

»Papierſtreifen ſpäter die Zeiten mit beliebiger Schärfe ableſen. Wenn »man aber Beobachtungen dieſer Art macht, ſo iſt es vor Allem zweckmäßig, »die gewöhnlichen Fadennetze der Meridianinſtrumente abzuändern. Bei »der gewöhnlichen Beobachtung hat man gefunden, daß die Zwiſchenräume »der Fäden 25 Secunden (Zeit) betragen müſſen, wenn die Durchgänge »gehörig beſtimmt werden ſollen. Beim Anſchlagen der Taſten dagegen »reichen Zwiſchenräume von 1½ Secunden vollkommen aus, ſo daß man »10 Fäden hinbringen kann, wo früher nur einer war.

»Die Zahl der Beobachtungen kann alſo in derſelben Zeit auf das »Zehnfache vermehrt werden, und was ſonſt in zehn Jahren geleiſtet »werden konnte, läßt ſich jetzt mit Hülfe einer regiſtrirenden »Uhr in einem Jahre zu Stande bringen.

»Die zwei Vortheile, die wir eben bezeichnet haben: nämlich größere »Genauigkeit der einzelnen Beobachtung und zehnfach grö»ßere Leiſtung in demſelben Zeitraum, werden an und für ſich zu »dem Ausſpruche berechtigen, daß die Aſtronomie durch die Erfindung von »Locke ein mächtiges Hülfsmittel erhalten hat. Der Ausſpruch wird noch »mehr gerechtfertigt erſcheinen, wenn wir noch die ſonſtigen Vortheile re»giſtrirender Uhren näher betrachten.

»Bisher mußte man die Uhr immer neben ſich haben, um die Secunden »zu hören, und konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren »Nähe der Uhr gemacht werden, ſo war dies, ſelbſt wo alle Hülfsmittel ge»geben waren, eine ſehr umſtändliche Sache; bei einer regiſtrirenden Uhr »dagegen iſt es ganz gleichgültig, wo ſie ſteht, da man die Drahtleitung »leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es iſt nicht ein»mal erforderlich, daß die aſtronomiſche Uhr im Beobachtungsſaale ſelbſt »ihren Platz habe, vielmehr erſcheint es zweckmäßiger, ſie in einem Wohn»zimmer oder Büreau — natürlich an einem iſolirten Pfeiler — aufzu»ſtellen, wo ſie keiner großen Temperaturveränderung ausgeſetzt iſt und »einen gleichmäßigen Gang einhalten kann.

»Eine regiſtrirende Uhr läßt ſich ferner noch mit dem elektriſchen Tele»graphen in Verbindung bringen und zu mannichfaltigen Zwecken benutzen. »Dieſelbe Uhr kann z. B. einen Regiſtrirapparat an der Münchener und »einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der »Durchgang derſelben Sterne über den Meridian beobachtet wird, ſo läßt »ſich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographiſche »Längendifferenz ableiten.

»Solche Beſtimmungen ſind in Nordamerika bereits mit dem beſten »Erfolge ausgeführt worden. Aehnliche Operationen werden ohne Zweifel »bald auf dem europäiſchen Continent zur Ausführung kommen. Schon »in der nächſten Zukunft wird das Telegraphennetz ſo weit ausgebreitet

»seyn, daß die Sternwarten von Paris, Wien, Berlin, München, Prag, »Mailand, Brüssel, Bonn, Breslau, Leipzig unmittelbar mit einander in »Verbindung gesetzt werden können.

»Ein weiterer Vortheil besteht darin, daß eine genaue Vergleichung der »Uhren verschiedener Sternwarten stattfinden kann, was bei mancherlei »Gelegenheit von Wichtigkeit ist, besonders bei Sonnenfinsternissen, bei »merkwürdigen Sternbedeckungen u. s. w.

Lamont hat auf der Münchener Sternwarte bereits eine galvanisch registrirende Uhr eingerichtet.

Galvanische Töne. Der Erste, welcher eine hierher gehörige Tondil- 238
dung beobachtet hat, ist Page. Eine flache Spirale von 40 Windungen eines dicken (übersponnenen) Kupferdrahtes wurde zwischen den Polen eines aufgehängten Hufeisenmagneten so angebracht, daß keine Berührung zwischen der Spirale und den Polen stattfand. Die Spirale befand sich im Schließungsbogen eines einfachen voltaischen Elementes. Wenn nun die Kette geöffnet oder geschlossen wurde, so hörte Page in dem Magneten einen anhaltenden Ton. Beim Schließen war der Ton schwächer als beim Oeffnen, in welchem Fall er auf 2—3 Fuß Entfernung hörbar war. Das Oeffnen und Schließen der Kette geschah in solcher Entfernung von der Spirale und dem Magneten, daß das Geräusch der dabei entstehenden Funken nicht störend einwirken konnte. (Silliman, Amer. Journ. July 1837. P. A. XXXXIII, 411).

Im LXIII. Bande von Poggendorf's Annalen findet sich nun auf Seite 530 in Betreff des Tönens beim Elektromagnetisiren die Notiz, daß Page's Entdeckung zu Frankfurt a. M. dahin erweitert ward, daß Eisenblech, zu einem Cylinder gebogen, innerhalb des schraubenförmigen Schließungsdrahtes einer voltaischen Kette beim Anfang und Ende des Stromes ein Knistern hören lasse. — Von wem dieser Versuch herrührt, ist nicht gesagt. An derselben Stelle wird aber weiter berichtet, daß Marrian in Birmingham das Tönen von Eisenstäben beobachtet habe, welche sich in einer Magnetisirungsspirale befinden, wenn der Strom, welcher dieselbe durchläuft, abwechselnd unterbrochen und wieder hergestellt wird. — Die Stäbe waren $\frac{1}{4}$ bis 2 Zoll dick und $\frac{1}{2}$ bis 20 Fuß lang; sie gaben dabei immer denselben Ton, der auch durch Streichen ihres Endes zu erhalten war (also wahrscheinlich der Longetudinalton). Harter Stahl und ein Magnetstab verhielten sich ebenso. Andere Metalle tönten nicht.

Diese Notiz ist dem Phil. Mag. (1844 Vol. 25 p. 382) entnommen, wo wahrscheinlich Näheres über die Art und Weise sich findet, wie Marrian seine Versuche anstellte. Weiter unten finden sich detaillirte Angaben über ähnliche Versuche Wertheim's.

Die Comptes rendus (T. XX. p. 1827) enthalten einen Brief De La Rive's an Arago, in welchem er von ſeinen Verſuchen über das galvaniſche Tönen Nachricht giebt. (P. A. LXV, 637). Was in demſelben über die Verſuche ſelbſt geſagt iſt, mag hier (mit Hinweglaſſung alles Raiſonnements) wörtlich folgen:

»Auf einem Reſonanzboden brachte ich Drähte und Stäbe an, ver»ſchieden an Metall, an Länge und Durchmeſſer; die Einrichtung des »Apparates erlaubte, die Drähte mehr oder weniger zu ſpannen, wie »auf einem Monochord. Jeder Stab oder Draht war ſo angeordnet, »daß er durch die Axe einer Spule gehen konnte, die mit einem dicken, »mit Seide überſponnenen Kupferdraht ſchraubenförmig umgeben war. »Den mittelſt eines Commutators discontinuirlich gemachten Strom ließ »ich bald durch den zum Verſuch genommenen Metalldraht ſelber gehen, »bald durch den ihn umgebenden Schraubendraht. Folgendes waren die »Reſultate:

»Bei eiſernen Drähten und Stäben iſt der Ton faſt derſelbe, es mag »der discontinuirliche Strom geradezu durch ſie gehen, oder ſie abwechſelnd »magnetiſiren und demagnetiſiren, indem man ihn durch den Schrauben»draht leitet. — — — — — — — — — — —

— — — — — — — — — — — — — —

»Was den Ton betrifft, ſo kann ich keine beſſere Idee von ihm geben, »als wenn ich ihn mit dem eines Savart'ſchen gezahnten Rades vergleiche. »Es iſt mehr ein Geräuſch, hervorgehend aus dem Stoß der Metall»theilchen gegeneinander, als ein muſikaliſcher Ton. Freilich hört man »auch muſikaliſche Töne, nämlich die harmoniſchen von demjenigen, wel»chen der Draht oder Stab durch Querſchwingungen geben würde; — — — — — Man kann ſie verſchwinden machen, wenn man den ſchwin»genden Körper mit der Hand anfaßt, ohne daß dadurch das eigentliche »Geräuſch aufhört.

»Wenn der Eiſendraht angelaſſen iſt, giebt er bei Leitung des elektriſchen »Stroms einen weit ſtärkeren Ton, als wenn er durch die Wirkung des »Schraubendrahtes abwechſelnd magnetiſirt und demagnetiſirt wird. Das »Umgekehrte findet bei einem gehärteten Stahl ſtatt. Ein Stahldraht giebt, »den Strom leitend, nur einen ſehr ſchwachen Ton, und unter Einfluß des durch »den Schraubendraht gehenden Stromes einen weit ſtärkern. Der Ton, »welchen ein wohl angelaſſener Eiſendraht bei Leitung des Stromes giebt, »iſt ein ſehr ſtarker, der viel Aehnlichkeit hat mit dem Ton einer Thurm»glocke von Weitem.

»Die Art des Tones iſt verſchieden nach der Geſchwindigkeit, mit welchen »die discontinuirlichen Ströme auf einander folgen. Iſt dieſe Folge raſch, »ſo ähnelt der Ton ſehr dem Geräuſch eines ſtarken Windes. Das gilt

»sowohl von dem nach der einen, als nach der andern Art hervorge»brachten Ton.

»Derselben doppelten Wirkung habe ich ausgesetzt: Platin-, Silber-, »Kupfer-, Messing-, Neusilber-, Blei-, Zinn- und Zinkdrähte. Alle gaben »wahrnehmbare, mehr oder weniger intensive Töne, sie mogten den Strom »leiten oder der Wirkung des schraubenförmigen Stroms ausgesetzt seyn. »Bei jedem Metall war zwischen dem nach der einen oder der andern »Weise erzeugten Ton kein merklicher Unterschied.

»Merkwürdig ist, daß Kupfer, Messing, Platin und Argentan nur »einigermaßen intensive Töne geben, so lange sie keiner merklichen Span»nung ausgesetzt sind, so wie man sie aber ein wenig spannt, nimmt die »Intensität des Tones ab und bei starker Spannung wird sie fast Null. »Genau das Umgekehrte gilt vom Blei, Zink und Zinn.

»Die Länge des Drahtes hat keinen Einfluß auf die Art des Tons; »sie hat nur einen auf die Intensität desselben insofern, als bei schwächerem »Strom eine geringere Drahtlänge erforderlich ist, wenn der Ton merklich »seyn soll, wenigstens wenn es sich um den Ton handelt, den der Draht »bei Leitung des Stromes giebt. — — —

»Wenn dann der discontinuirliche Strom den Schraubendraht durchläuft, »ſo ſieht man die Scheibchen ſich bewegen und in der merkwürdigſten »Weiſe um einander drehen. Das Feilſel ſcheint vollkommen im Kochen »zu ſeyn, und iſt der Strom intenſio, ſo ſpritzt es, wie Waſſer, in Strah»len von 3 bis 4 Centimeter Höhe auf; zugleich iſt dieſe Bewegung des »Feilſels von einem Geräuſch, ähnlich dem einer ſiedenden Flüſſigkeit, »begleitet.«

In dem ſchon oben auf Seite 408 erwähnten Aufſatze De La Rive's, verbreitet ſich derſelbe (Seite 285) auch über die galvaniſchen Töne. Die das Experiment ſelbſt betreffenden Stellen ſind folgende:

»Außer Eiſenſtäben nahm ich auch Stäbe von anderen Metallen, wie »Zinn, Zink, Blei, Wismuth u. ſ. w. Ich legte ſie auf die Pole eines »Elektromagneten und ließ den unterbrochenen Strom einer Groveſchen »Batterie von 5 bis 10 Paaren durch ſie gehen. So lange der Elektro»magnet nicht magnetiſirt war, gaben ſie keinen Ton; ſo wie er aber »wirkte, hörte man deutlich Töne, beſtehend aus einer Reihe von Schlägen, »welche den Unterbrechungen des Stromes entſprachen und den durch ein »gezahntes Rad erzeugten Tönen analog waren. Die Stäbe waren 18 »Zoll lang und 9 bis 10 Linien im Quadrat. Stäbe von Kupfer, Platin »und Silber gaben ähnliche Wirkungen. Ein Eiſenſtab gab unter dem »Einfluß des Magneten keinen lauteren Ton, als ohne deſſen Einwirkung.

»Am merkwürdigſten ſchien es mir, daß Blei, ein ſo wenig elaſtiſcher »Körper, unter gleichen Umſtänden einen eben ſo kräftigen Ton lieferte, »wie die übrigen Metalle. Die Lage der Metallſtäbe in Beziehung auf »die Pole des Elektromagneten änderte das Reſultat des Verſuchs in keiner »Weiſe ab; ſie mochten axial, d. h. in der Richtung der Pole, oder äqua»torial, d. h. quer gegen die Pole gelegt werden, ſo blieb doch der Effect »derſelbe; nur war er ſchwächer, ſo wie die Entfernung des Stabes von »den Polen wuchs. Um den Ton, wenn er nicht ſehr ſtark war, deut»lich zu hören, brauchte man nur den Metallſtab durch einen Holzſtab »mit dem Ohr in Verbindung zu ſetzen. Auf dieſe Weiſe wurde der Ton »nicht ſelten einige Secunden lang gehört und wenn der Elektromagnet »außer Thätigkeit geſetzt ward, vor ſeinem gänzlichen Verſchwinden lang»ſam abnehmend. — — — — — — — — — —

— — — — — — — — — — — — — —

»Die Stärke des Tons ſcheint viel weniger von der Natur der zum »Verſuch genommenen Subſtanz abzuhängen, als von deren Geſtalt, »Volum und Maſſe. Röhren von Platin, Kupfer oder Zink geben deut»lichere Töne, als maſſive Stäbe von dieſen Metallen. Ich wickelte einen »Bleidraht ſchraubenförmig auf einen Holzcylinder; ich that daſſelbe mit »einem ſehr feinen Platindraht, ſowie auch mit Drähten von Kupfer,

»Zink und Zinn, mit der Vorsorge, die Windungen so weit auseinander »zu halten, daß sie isolirt waren. Diese Schraubendrähte gleich Stäben »oder Röhren entweder in der Richtung der Pole oder quer darauf gelegt, »gaben sehr starke Töne, wenn bei geladenem Elektromagnet ein unter»brochener Strom durch sie geleitet wurde. Besonders überraschend war »es, den Bleidraht einen so starken Ton geben zu hören. Ein mit Seide »besponnener Kupferdraht, in mehreren Lagen schraubenförmig übereinander »gewickelt, gab ebenfalls einen sehr starken Ton; auch gab er einen, ob»wohl viel schwächern, unter Einwirkung des Elektromagneten.

»Es ist fast unnöthig, zu bemerken, daß bei allen diesen Versuchen ein »gewöhnlicher Magnet eben so wirkt wie ein Elektromagnet. Allein in»teressanter ist es, den Elektromagneten durch einen Schraubendraht zu »ersetzen, welcher von einem starken continuirlichen Strom durchlaufen »wird, in dessen Axe man den Stab, die Röhre oder den aufgewickelten »Draht, welcher den unterbrochenen Strom leitet, gelegt hat. Versuche »haben mir gezeigt, daß in diesem Falle die Resultate dieselben sind; die »Stärke der Töne ist nicht sehr verschieden, besonders wenn Röhren und »schraubenförmige aufgewickelte Drähte gebraucht werden. Wenn zwi»schen dem äußern Schraubendraht und dem der Wirkung unterworfenen »Metall eine Röhre von weichem Eisen eingeschoben wird, ist die Wir»kung etwas stärker; dagegen wird sie, wenn die Röhre von Kupfer ist, »weder verstärkt noch geschwächt; nur hört man in diesem Fall noch ei»nen andern Ton, der von der Kupferröhre auszugehen scheint. Diese »Röhre wird indeß nicht von einem Strom durchlaufen; allein wahr»scheinlich wirken auf sie Inductionsströme, welche von den unterbroche»nen Strömen, die den in der Axe des Schraubendrahtes liegenden Leiter »durchlaufen, in ihr erzeugt werden. Ich construirte aus zwei dicken, mit »Seide besponnenen Kupferdrähten einen doppelten Schraubendraht, jeden »von mehreren Windungen und den einen über den andern. Als ich den »stetigen Strom durch den äußern Draht gehen ließ, und den unterbro»chenen durch den inneren, hörte ich einen merkwürdig starken Ton. Im »umgekehrten Fall entstand ein viel schwächerer Ton.

»Metalle und starre Substanzen sind nicht die einzigen Körper, »welche die oben beschriebenen Erscheinungen hervorbringen; vielmehr schei»nen alle leitenden Körper, was auch ihr Zustand oder ihre Natur seyn »möge, dazu geschickt zu seyn. So habe ich sie mit Kohlenstücken aller »Arten und Gestalten beobachtet. Auch Quecksilber erzeugt sie in markir»ter Weise. In eine Glasröhre von 1 Zoll Durchmesser und 10 Zoll »Länge schloß ich Quecksilber ein; die Röhre war ganz voll und sorgfältig »verschlossen, so daß das Quecksilber sich nicht bewegen konnte. Dennoch »wurde ein merkwürdig starker Ton gehört, so wie man mittelst zweier

»Platindrähte einen unterbrochenen Strom hindurchleitete und den Elek»tromagneten oder Schraubendraht wirken ließ. Ebenſo gab Queckſilber »einen Ton, wenn es, ſtatt in eine Röhre eingeſchloſſen zu ſein, in einen »offenen Trog gegoſſen war. — — — — — — — —

— — — — — — — — — — — — — —

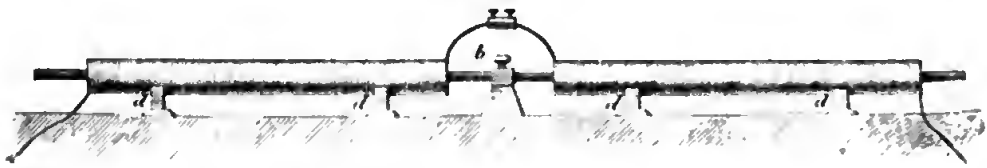
»In eine Platinſchale, die auf einem der Pole eines Elektromagneten »ſtand, wurde ſucceſſive verdünnte Schwefelſäure, und was ſelbſt beſſer »iſt, Salzwaſſer gegoſſen. In die Flüſſigkeit tauchte man eine Platin»ſpitze, die nebſt der Schale dazu dient, einen unterbrochenen Strom »durch jene zu ſenden. Wiederum ward ein Ton gehört, doch weniger »deutlich, wegen des Geräuſches, welches die Gasentwickelung verurſachte; »dennoch war es ſo vernehmlich, daß über ſein Daſeyn kein Zweifel übrig »bleiben konnte.«

Gewiß iſt es eine Reihe eben ſo intereſſanter, wie für die Entwickelung der Theorie wichtiger Erſcheinungen, welche De la Rive durch ſeine Experimentalunterſuchungen aufgefunden und in dem Obigen bekannt gemacht hat. Was nun aber die Details der Verſuche anbelangt, ſo iſt ſchwerlich in Abrede zu ſtellen, daß De la Rive in den citirten Stellen die Bedingungen nicht genügend hervorgehoben hat, welche zum Gelingen der Verſuche nothwendig ſind. Ein weiterer Aufſatz De la Rive's über denſelben Gegenſtand in den Annales de l'électricité Nro. 17. iſt mir nicht zu Geſicht gekommen, ich weiß alſo nicht, ob er präciſere Angaben enthält.

239 **Wertheim's Unterſuchungen über die durch den elektriſchen Strom hervorgebrachten Töne.** Auch Wertheim hat über die Tonerregung durch Galvanismus Verſuche angeſtellt. Die erſte Notiz findet ſich in Compt. rend. XXII, p. 336. P. A. LXVIII, S. 140. In einem ſpäteren Aufſatz (Ann. de chim. et de phys. Sér. III. T. XXIII, 302; P. A. LXXVII, 43.) ſind dieſe Verſuche genauer beſchrieben und durch Abbildungen erläutert.

Um den galvaniſchen Ton in Eiſenſtäben zu erzeugen, wandte er den Apparat Fig. 226 an. Ein 2 Meter langer Eiſenſtab iſt in ſeiner Mitte

Fig. 226.



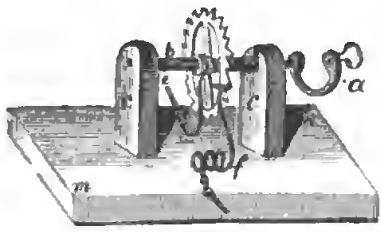
bei *b* feſtgeklemmt; über jede Hälfte iſt eine auf eine Glasröhre gewickelte, durch die Füße *d* getragene 90 Centimeter lange Magnetiſirungsſpirale geſchoben, ſo daß das Ende des Stabes noch vorragt.

Durch Streichen eines der freien Enden kann man den longitudinalen Ton des Stabes erzeugen. Dieser Ton bleibt derselbe, mag nun in den Spiralen ein Strom circuliren oder nicht.

Sobald man den Strom discontinuirlich macht, läßt der Stab ebenfalls einen Ton hören, welcher dem durch Reiben erzeugten Longitudinalton ganz gleich ist; er ist unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Unterbrechungen auf einander folgen.

Die Unterbrechungen und Wiederschließungen des Stromes wurden entweder an einer der Drahtklemmen bewerkstelligt, oder mittelst eines in den Schließungsbogen eingeschalteten Quecksilbernäpfchens, oder endlich mittelst eines Rheotoms (ein Apparat wie der Fig. 227 ist dazu ganz tauglich) zu Stande gebracht, welcher, um das Geräusch und die Stöße seiner Bewegung zu vermeiden, in einem anstoßenden Zimmer aufgestellt war.

Fig. 227.



Als zu diesem Versuche Stäbe von 2 — 1,6 — 1,33 und 1 Meter Länge angewandt wurden, gaben sie den Grundton, die Terz, die Quart und die Octav.

Der longitudinale Ton ist fast immer begleitet von einem Stoß und trockenem Geräusch, welches nicht den Charakter eines bestimmten musikalischen Tones hat.

Das Resultat bleibt für alle Querdimensionen dasselbe.

Stahlstäbe geben gleichfalls sehr schöne Töne; dagegen geben Stäbe von Zink, Kupfer, Messing, Glas u. s. w. selbst mit Säulen von 20 Bunsen'schen Elementen keinen Ton.

Befindet sich der Stab außerhalb der Axe der Spirale, so ist der longitudinale Ton weniger rein und von Querschwingungen begleitet, die schon dem bloßen Auge sichtbar sind; allein diese Schwingungen geben einen so schwachen Transversalton, daß man ihn nicht anders hören kann, als wenn man das Ohr auf das den Apparat tragende Brett legt.

Der Ton bleibt sich gleich, es mag der Strom in gleichem oder entgegengesetztem Sinn die beiden Hälften des Stabes umkreisen, oder endlich nur auf eine Hälfte oder irgend einen Theil des Stabes wirken, sobald nur dieser Theil hinlänglich vom Einspannungspunkt entfernt und der Strom hinlänglich stark ist.

Aehnliche Resultate wurden mit Eisen- und Stahldrähten erhalten, welche in der Axe der Magnetisirungsspirale ausgespannt waren. — Wertheim wandte Drähte von 0,5 bis 3 Millimetern Dicke an. Sobald die Spannung so stark war, daß der am Draht hinabgeführte Vio-

linbogen nur den Längston ohne ein anderes Geräuſch vornehmen ließ, war der vom unterbrochenen Strom erregte Ton auch ganz rein; wenn aber die Spannung vermindert wird, iſt ſowohl der vom Violinbogen als auch der durch den Strom erzeugte Ton von einem andern Geräuſch begleitet. Dieſes Geräuſch iſt nicht bloß der Querton, ſondern ein ganz eigenthümliches, anſcheinend den Draht entlang laufendes Geklirr, ſo wie andere Arten von ſchwer beſtimmbarem Geräuſch, welches vorzugsweiſe bei raſch auf einander folgenden Unterbrechungen merklich wird. Bei dünnen Drähten iſt dieſes Geräuſch ſchwer zu beobachten, während der Längston ſelbſt bei ſchwachen Spannungen andauert. — Wohl angelaſſene Drähte von 1^{mm} Durchmeſſer geben im Allgemeinen die beſten Reſultate.

Drähte von Blei, Zinn, Zink, Kupfer, Meſſing, Silber und Platin geben, nach Wertheim's Verſuchen, keinen Ton.

Auch mit dem durchgeleiteten Strom brachte Wertheim Töne hervor. Um ſie in einem Eiſenſtabe zu erzeugen, befeſtigte er einen dünnen Meſſinghaken an jedem Ende des Stabes, Fig. 228, und tauchte dieſelben in Queckſilbernäpfchen.

Fig. 228.

Jedesmal, wenn der Strom hergeſtellt und wieder unterbrochen wird, hört man den Längston. »Bei dieſen Verſuchen muß man ſich aber ſehr hüten,« ſagt Wertheim, »den eigenen Ton des Stabes zu verwechſeln mit dem Geräuſch des Funkens, welches ſich gleich jedem andern Ton mit großer Leichtigkeit durch ſtarre Körper fortpflanzt. Dieſer Fehler wird leicht begangen, beſonders wenn der Stab oder der Draht auf einem Reſonanzkaſten befeſtigt iſt.«

Bei gleichem Strom nimmt die Stärke des Tones ab, wenn der Stab dicker iſt.

Derſelbe Stab giebt ſtets denſelben Ton, wenn er auch nicht ſeiner ganzen Länge nach, ſondern nur theilweiſe von dem Strom durchlaufen wird, wie es der Fall iſt, wenn die den Strom einleitenden Häkchen ſo angebracht ſind, wie es Fig. 229 andeutet. Je mehr man ſich aber mit

Fig. 229.

dieſen Einleitungshäkchen der Mitte des Stabes nähert, je kürzer man alſo das vom Strom durchfloſſene Stück macht, deſto ſchwächer wird der Ton.

Wenn der Stab nicht eingeſpannt, ſondern auf Rollen gelegt wird, ſo iſt der Ton trockener und ſchwächer.

Berührt man das Ende des auf Rollen liegenden Stabes direct mit dem Zuleitungsdraht, ſo hört man deutlich ein Geklirr, welches den Stab entlang zu laufen ſcheint und von deſſen Durchmeſſer unabhängig iſt; es bleibt bisweilen mehrere Secunden, während der Längston erſt im Moment der Unterbrechung wieder erſcheint. Dies Geklirr erſcheint beſonders, wenn man den Stab mit dem poſitiven Pole berührt.

Wertheim macht hier die Bemerkung, daß dieſer Ton wahrſcheinlich von der Ordnung derjenigen ſey, welche De la Rive bei ſeinen im vorigen Paragraphen beſprochenen Unterſuchungen beobachtet hat.

Ein Stahlſtab läßt denſelben Ton und daſſelbe Geräuſch vernehmen, Stäbe von anderen Metallen geben, nach Wertheim, keinen Ton.

Mit Eiſen- und Stahldrähten von verſchiedenem Durchmeſſer erhält man den longitudinalen Ton ſehr rein, wenn ſie auf dem Sonometer ſtark ausgeſpannt ſind, ſo wie man aber ihre Spannung vermindert, miſchen ſich dem Längston die ſchon erwähnten Arten von Geräuſch bei.

Wenn die beiden Enden eines Eiſendrahtes, von dem ein Theil auf dem Sonometer ausgeſpannt iſt, während der Reſt ſchlaff bleibt, mit dem Rheotom in ein benachbartes Zimmer gebracht ſind, ſo hört man im Moment der Stromſchließung oder Unterbrechung in allen Theilen der Drahtleitung, wenn man das Ohr an dieſelbe hält, ein trockenes Geräuſch, ein Kniſtern, wie das von Funken, welches ſich erſt im ausgeſpannten Theile in einen deutlichen Ton verwandelt, während man nichts der Art hört, wenn man durch Reiben des einen Drahtendes an einem harten Körper ein Geräuſch erzeugt, welches unmittelbar weit ſtärker iſt als der Funken, ſich aber nicht durch den Leiter fortpflanzt.

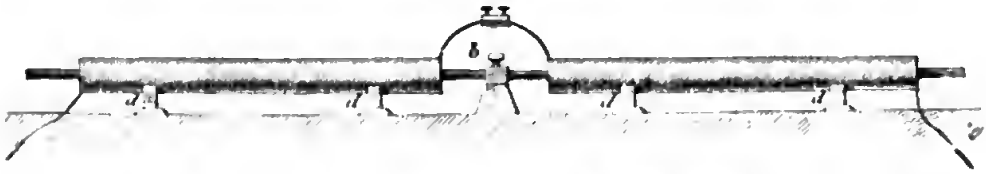
Unter denſelben Umſtänden geben Drähte von anderen Metallen keinen Ton.

Theorie des galvaniſchen Tönens. Wertheim ſucht die beſpro- 240
chenen Erſcheinungen durch mechaniſche Wirkungen des Stromes zu erklären. Er ſagt in der Einleitung des citirten Aufſatzes: »Können wir »beweiſen, daß der Strom, der äußere wie der durchgeleitete, eine plötz»liche Formveränderung, einen inſtantanen Stoß im Eiſen bewirkt; kön»nen wir beſtimmen, in welcher Richtung dieſer mechaniſche Effect ſtatt»findet; können wir überdies zeigen, daß derſelbe Effect in derſelben Rich»tung von einer andern rein mechaniſchen Kraft erzeugt, denſelben Ton

»wie der Strom hervorbringt: ſo wird es unnöthig ſeyn, zur Erklärung »des Phänomens irgend eine beſondere Hypotheſe aufzuſuchen, denn offen»bar entſpringt er dann aus den Schwingungen, welche jede plötzliche »Formveränderung begleiten, und die Meinungen können nur darin ab»weichen, auf welche Weiſe der Strom dieſen mechaniſchen Stoß hervor»bringe.«

Um die mechaniſchen Wirkungen des Stromes auf eine Eiſenſtange zu unterſuchen, wandte Wertheim einen Apparat an, deſſen Einrichtung mittelſt der in Fig. 230 abgebildeten Vorrichtung erläutert werden kann. Die Eiſenſtange war auf dieſelbe Weiſe befeſtigt, nur war der Ständer *b* höher, ſo daß eine Drahtrolle von größerem Durchmeſſer in Anwen-

Fig. 230.



dung gebracht werden konnte. Die zu dieſen Verſuchen dienende Drahtrolle hielt 1336 Meter Kupferdraht von 2,5 Millimeter Durchmeſſer, ſie hatte eine Länge von 25 Centimeter und 18 Centimeter innerem Durchmeſſer. An den Enden des Stabes waren Mikroſkope mit Fadenkreuzen angebracht, durch welche die geringſte Ortsveränderung des Stabes beobachtet werden konnte.

Die Reſultate ſind am deutlichſten, wenn ſich die Drahtſpirale möglichſt nahe am freien Ende des Stabes befindet.

Wenn die Stabaxe genau mit der Axe der Drahtrolle zuſammenfiel, beobachtete man keine Seitenbewegung, ſondern nur eine ſehr kleine Verlängerung, welche Wertheim einem longitudinalen Zug zuſchreibt. Dieſe Verlängerung ging ſelten über 0,002 Millimeter, und war, obwohl ſichtbar, doch faſt unmeßbar.

Nach Joule's Meſſungen beträgt die Verlängerung eines bis zur Sättigung magnetiſirten Eiſenſtabes $1/270000$ ſeiner Länge (Phil. Magazine, Februar und April 1847).

Verſchob man die Drahtrolle parallel mit ſich ſelbſt, ſo daß ſich der Stab nicht mehr in ihrer Axe befand, ſo blieb die Verlängerung, allein ſie war von einer weit bedeutenderen Seitenbewegung begleitet Bei einem quadratiſchen Stabe, deſſen Seite 1 Centimeter und deſſen Länge vom Einſpannungspunkt bis zum Ende 997 Millimeter betrug, erreichte dieſe Seitenbewegung die Größe von 0,788 Millimetern, als der Stab 80 Millimeter aus dem Mittel der Spirale gerückt war. Unter gleichen Umſtänden betrug die Seitenbewegung eines mit ſeiner breiten Seite aufrecht

gestellten 12^{mm} breiten und 3,375^{mm} dicken Streifens von Eisenblech 5,121^{mm} und 2,322^{mm} bei einem quadratischen Stabe von 5^{mm} Seite.

Durch diese Versuche ist nachgewiesen, daß der durch einen Schraubendraht gehende Strom auf einen innerhalb desselben befindlichen Eisenstab oder Eisendraht einen mechanischen Zug ausübt, welchen man als Resultante einer longitudinalen und einer transversalen Componente betrachten kann. Die im Sinne der Axe der Spirale wirkende Kraft ist es, welche den longitudinalen Ton erzeugt.

Der durchgeleitete Strom erzeugt in dem eisernen Leiter, den er durchläuft, einen plötzlichen Stoß, welcher nur den longitudinalen Ton erzeugen kann, weshalb der transversale Ton gar nicht durch den durchgeleiteten Strom erzeugt wird.

De la Rive ist nun anderer Meinung, er sieht in der Tonbildung durch den galvanischen Strom ein molekulares Phänomen, und glaubt, daß es zum Beweis zweier wichtiger Sätze führe.

1) Der Uebergang des Stromes modificirt, selbst in starren Substanzen, die Anordnung der Theilchen.

2) Die Wirkung des Magnetismus, unter welcher Form sie auch ausgeübt werden möge, modificirt ebenfalls die Constitution aller Körper, und diese Modification dauert so lange als die sie erzeugende Ursache, und verschwindet auch mit ihr.

Diese widersprechenden Ansichten über die Ursache der galvanischen Tonbildung gaben Veranlassung zu einer Discussion, welche in den Comptes rendus (T. XXII, p. 428 und 544) geführt wurde. Wir können hier wohl um so eher über diese Controverse weggehen, als man über die Identität des Phänomens, welches erklärt werden soll, noch keineswegs im Reinen ist, denn daß De la Rive vielfach mit anderen Erscheinungen zu thun hatte, als diejenigen, welche Wertheim untersucht hat, unterliegt wohl keinem Zweifel.

241 **Einfluß des galvanischen Stroms und des Elektromagnetismus auf die Elasticität der Metalle.** Ueber diesen Gegenstand hat Wertheim Versuche angestellt, welche ihn zu folgenden Resultaten führten. (Ann. de chem. et de phys. Ser. III. T. XII, p. 610. — P. A. Ergänzungsband v. 1848. S. 99.)

1) Der galvanische Strom bewirkt in den von ihm durchlaufenen Metalldrähten eine momentane Verringerung des Elasticitätscoefficienten, und zwar vermöge seiner eigenen Wirkung, unabhängig von der Verringerung, welche durch die Temperaturerhöhung entsteht. Diese Verringerung verschwindet gänzlich mit dem Strom, wie lange er auch gewirkt haben mag.

2) Die Größe dieser Verringerung hängt von der Stromstärke und wahrscheinlich auch von dem Leitungswiderstand des Metalles ab.

3) Die Cohäsion der Drähte wird durch den Strom verringert; die Veränderlichkeit dieser Verringerung erlaubt jedoch nicht zu unterscheiden, ob sie eine eigene Wirkung des Stromes sey, oder nur eine Folge der Temperaturerhöhung.

4) Die Magnetisirung durch einen continuirlichen Strom bewirkt im weichen Eisen und im Stahl eine kleine Verringerung des Elasticitätscoefficienten, und diese Verringerung bleibt zum Theil selbst nach der Unterbrechung des Stromes.

242 **Elektromagnetische Rotation des Queckſilbers.** Ueber diese interessante Erscheinung hat Poggendorff in seinen Annalen (LXXVII, 1) einige neue Beobachtungen publicirt. Der Beschreibung seiner Versuche geht eine kurze historische Einleitung voraus, aus welcher, der besseren Orientirung wegen, das Wichtigste hier Platz finden mag.

Humphry Davy hat zuerst die Rotation eines beweglichen Leiters um einen Magnetpol beobachtet, nämlich die Rotation des galvanischen Flammenbogens. (Hiernach ist die auf Seite 416 gemachte Mittheilung zu berichtigen, wonach Walcker die erste Notiz von der Rotation des Flammenbogens gegeben habe.) Er beschrieb die Erscheinung in einer am 5. Juli 1821 in der königlichen Gesellschaft zu London gelesenen Abhandlung, ging indeß so kurz über dieselbe weg, daß sie wohl nicht viel Beobachtung gefunden haben würde, wenn nicht Faraday im September desselben Jahres in der Wechselwirkung eines starren Stromleiters und eines Magnetstabes ein viel einfacheres und mannichfacher Abänderungen fähiges Mittel zur Hervorbringung continuirlichen Rotationen des Leiters oder des Magneten kennen gelehrt hätte. Schon im November darauf wurde diese wichtige Entdeckung auf die Fälle ausgedehnt, wo der Magnetstab entweder durch den Erdmagnetismus oder durch einen zweiten starren Stromleiter ersetzt ist. — Im Jahre 1823 zeigt Humphry Davy, daß auch ein flüssiger metallischer Leiter, Queckſilber oder geschmolzenes Zinn, unter gleichen Umständen wie ein starrer in elektromagnetische Drehung versetzt werden kann, eine Thatsache, welche späterhin auch bei nicht metallischen flüssigen Leitern nachgewiesen wurde.

So rasch dieser Kreis von Erscheinungen in experimenteller Hinsicht durchforscht worden ist, so schnell hat er auch in theoretischer Beziehung seine Erledigung gefunden. Ampère, obwohl die continuirlichen Rotationen nicht voraussehend, hat sie sehr bald auf die von ihm entdeckten elektrodynamischen Gesetze zurückgeführt, und wenn auch seine Erklärung nicht vollständig ist, so enthält sie doch die Grundzüge der richtigen Theorie.

Davy stellte seine Versuche zuerst in der Art an, daß er in eine mit Quecksilber gefüllte Schale die beiden Poldrähte einer sehr kräftigen Volta'schen Batterie lothrecht hinabgehen ließ, und nun von unten oder oben her einen Magnetpol näherte. — Das Quecksilber rotirte um die beiden Drähte in entgegengesetzter Richtung.

Hierauf leitete er die beiden Drähte von unten her, durch den Boden der Schale, und überzog dieselben so weit mit Siegellack, daß nur ihre zuvor abgeflachten und polirten Enden entblößt blieben und mit dem Quecksilber in Berührung kamen, von welchem sie nur etwa eine Linie hoch bedeckt wurden. Jetzt kam die Rotation des Quecksilbers auch ohne Magnet, nur nicht so stark, zum Vorschein, und über den beiden Drahtenden zeigte sich eine Hebung des Quecksilbers von 1 bis 2 Linien, es bildeten sich also zwei Kegel, von deren Gipfel das flüssige Metall fortwährend nach allen Seiten abfloß. Durch die Annäherung eines Magnetpoles von oben her konnten diese Kegel bis zum Spiegel des Quecksilbers abgeflacht, ja sogar eine Vertiefung hervorgebracht werden, während die Masse zugleich schneller herumwirbelte.

Nach Poggendorff's Ansicht, entspringt die Hebung des Quecksilbers über den Enden der Polardrähte, aus der Repulsion, welche, nach Ampère's Theorie, die Theile eines Stromes in der Richtung seiner selbst, auf einander ausüben.

Die Depression des Quecksilbers, welche durch einen Magnetpol hervorgebracht wird, erklärt sich einfach durch die bei der raschern Rotation kräftiger wirkende Centrifugalkraft.

Um diese Depression auch mit geringeren Mitteln hervorzubringen, verfuhr Poggendorff folgendermaßen: In ein Uhrglas oder Porcellanschälchen wird etwa eine Unze Quecksilber gegossen und das Gefäß auf eine verticalstehende Drahtrolle gesetzt, die einen Eisenkern umschließt; für diese Drahtrolle kann man natürlich auch den einen Schenkel eines Uförmigen Elektromagneten in Anwendung bringen, dessen Pole nach oben stehen. — In das flüssige Metall werden nun zwei Drähte von Eisen oder Platin eingetaucht, der eine nahe am Rande, der andere in der Mitte der runden Masse, und zwar der letztere so, daß er nur etwa ½ Linie in das Quecksilber eintaucht. Werden nun die erforderlichen Verbindungen gemacht, um den Strom einer galvanischen Kette durch die Windungen der Magnetisirungsspirale und dann durch den einen der besprochenen Drähte in das Quecksilber ein-, durch den andern Draht herauszuleiten, so tritt beim Schließen der Kette sogleich eine lebhafte Rotation des Quecksilbers ein.

Im ersten Moment geschieht die Rotation um beide Drähte in entgegengesetzter Richtung, aber bald überwiegt die um den centralen Draht,

wegen ſeiner vortheilhaftern Stellung, und nun hat man alſo nur eine einzige Rotationsrichtung. In Folge der durch dieſe Rotation erzeugten Centrifugalkraft ſenkt ſich das Queckſilber in der Mitte, und wenn der centrale Draht nicht zu tief eingetaucht iſt, kommt bald ein Moment, wo das Queckſilber ſich von ihm abtrennt und dadurch eine Unterbrechung des Stromes bewirkt. Die Rotationsgeſchwindigkeit des Queckſilbers nimmt nun allmälig ab, es ſteigt in der Mitte, bis es endlich wieder mit dem neutralen Draht in Berührung kommt, wo dann die Rotation mit anfänglicher Geſchwindigkeit von Neuem beginnt.

Bei dieſem Vorgang hat man zu bemerken Gelegenheit, daß allemal, wenn das Queckſilber den centralen Draht verläßt, ein Funken erſcheint, niemals aber, wenn es wiederum mit ihm in Berührung tritt, was augenſcheinlich beweiſt, daß der ſo häufig beſprochene galvaniſche Schließungsfunken nicht exiſtirt.

Ferner beobachtete Poggendorff bei dieſer Rotation des Queckſilbers noch folgende merkwürdige Erſcheinung. Als der centrale Draht ſo tief eingeſenkt war, daß eine Trennung des Queckſilbers von demſelben nicht ſtattfand, dauerte die Rotation des Queckſilbers je nach Umſtänden 5, 10 oder 15 Minuten unverändert fort. Nach und nach verlangſamt ſich aber die Geſchwindigkeit, die Theilchen rotiren nicht mehr getrennt, mit ungleicher Geſchwindigkeit, wie Anfangs, ſondern gleichſam zuſammenhängend, wie wenn die Oberfläche des Queckſilbers eine ſtarre Scheibe bildete. Immer träger wird die Rotation dieſer Scheibe, und am Ende hört ſie ganz auf. Dabei hat der Strom, wie man ſich leicht überzeugen kann, nichts von ſeiner Stärke verloren; ja man kann ihn ſogar verſtärken, ohne daß ſich das Queckſilber wieder in Bewegung ſetzt. Poggendorff überzeugte ſich, daß dies Phänomen ſeinen Sitz nur an der Oberfläche, nicht in der Maſſe des Queckſilbers habe, denn wenn man unter gehörig ſchiefem Winkel auf das Metall blickt, ſo erkennt man deutlich an einer gewiſſen Wellenbewegung, daß die Rotation im Innern der Maſſe unverändert fortdauert. Es iſt alſo klar, daß bloß die Oberfläche des Queckſilbers eine Veränderung erlitten haben mußte.

Für dieſe Anſicht ſpricht auch der Umſtand, daß unbeweglich gewordenes Queckſilber, in einer Flaſche geſchüttelt, ſeine frühere Beweglichkeit wieder erhält.

Um zu unterſuchen, ob auch wäſſerige Flüſſigkeiten eine ähnliche Verfeſtigung ihrer Oberfläche erleiden, bediente ſich Poggendorff eines dem frühern ähnlichen Apparates, nur daß die beiden Poldrähte durch zwei winkelförmige Metallſtreifen erſetzt wurden, deren horizontale Schenkel ringförmig gekrümmt waren. Der eine dieſer Ringe ſchloß dicht an den Rand des etwa 2 Zoll im Durchmeſſer haltenden Schälchens, der

andere ſtand in der Mitte deſſelben und hatte ungefähr 3 Linien im Durchmeſſer. Bei Verbindung der lothrechten Schenkel mit der Batterie ging der Strom durch die Flüſſigkeit radialiter, entweder vom kleineren zum größeren Ringe, oder umgekehrt. Ein Verſuch wurde mit verdünnter Schwefelſäure und Ringen von amalgamirtem Zink, ein anderer mit Kupfervitriol-Löſung und Ringen von Kupfer angeſtellt.

Beide Flüſſigkeiten nahmen ſchon mit Hülfe des Stromes eines einzigen Grove'ſchen Bechers eine lebhafte Rotation an, welche durch aufgeſtreutes Lycopodium deutlich zu erkennen war. Nach 24 Stunden hatte die Rotationsfähigkeit der Oberfläche noch nichts an ihrer Stärke verloren.

Um von dem rotirenden Queckſilber die Luft abzuhalten, übergoß Poggendorff daſſelbe einige Linien hoch ſucceſſiv mit Mandelöl, Terpentinöl, Schwefelkohlenſtoff, Aether, Alkohol und deſtillirtem Waſſer. Unter dieſen entweder gar nicht oder doch nur ſehr ſchlecht leidenden Flüſſigkeiten kam die Oberfläche des Queckſilbers nicht zur Rotation; wurden aber dem Waſſer einige Tropfen Säure oder etwas Salz zugeſetzt, ſo ſtellte ſich ſogleich die Rotation des Queckſilbers ein, während auch die wäſſerige Flüſſigkeit rotirte.

Um den Einfluß von Dämpfen auf die Rotation des Queckſilbers zu unterſuchen, wurden die Zuleitungsdrähte durch Oeffnungen in der Seitenwand des Schälchens eingeführt und durch Korke feſtgehalten. Ein Stück Fließpapier mit der erforderlichen Flüſſigkeit benetzt, wurde über den Rand des Gefäßes ausgebreitet und mit einer Glasplatte bedeckt. Auf dieſe Weiſe konnte die Luft über dem Queckſilber mit verſchiedenen Gaſen und Dämpfen geſchwängert werden.

Terpentinöl-, Alkohol- und Schwefelkohlenſtoffdämpfe gaben keine entſchiedene Wirkung; dagegen hatte Ammoniakgas eine ſo zu ſagen tödtende Wirkung auf die Queckſilberoberfläche, indem dieſelbe viel ſchneller als in Luft allein zur Ruhe kam, ohne daß jedoch der Glanz der Queckſilberoberfläche abgenommen hätte.

Noch ſchneller wirkte Schwefeläther; nur wenige Augenblicke brauchte das mit Aether benetzte Papier die Schale zu überdecken, um eine vollſtändige Tödtung der Queckſilberoberfläche zu veranlaſſen, wobei dieſe übrigens ſpiegelblank blieb.

Als ein Stück Phosphor in der Schale aufgehängt wurde, füllte ſie ſich bald mit dem bekannten Nebel, der ſich ſenkte und der Queckſilberoberfläche ſchnell ihre Beweglichkeit raubte.

In entgegengeſetzter Weiſe wirken die Dämpfe flüchtiger Säuren, wie Eſſigſäure, Salzſäure, Salpeterſäure. Ueber einer an der Luft, in Ammoniakgas oder Aetherdampf unbeweglich gewordenen Queckſilber-

fläche braucht nur wenige Augenblicke ein mit ſolcher Säure benetztes Papier ausgebreitet zu werden, um ihr die urſprüngliche Beweglichkeit wieder zu geben. Es iſt dies um ſo auffallender, als in dem Dampf der Salpeterſäure und auch der Salzſäure die Queckſilberoberfläche nicht blank bleibt, ſondern anläuft. Aetherdampf vernichtet die nun eingetretene Lebendigkeit nicht, wohl aber Ammoniakgas.

Waſſerdampf hat keine Wirkung. Ebenſo iſt eine Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit oder eine Austrocknung derſelben durch concentrirte Schwefelſäure ohne allen Einfluß.

Der Apparat wurde nun ſo eingerichtet, daß die über dem Queckſilber befindliche Luft ausgepumpt und durch verſchiedene Gaſe erſetzt werden konnte.

Kohlenſäure und Waſſerſtoffgas zeigten ſich indifferent. Sauerſtoffgas wirkte etwas ſchneller tödtend als atmoſphäriſche Luft. In dem Vacuum, welches eine Handluftpumpe zu liefern im Stande iſt, behielt die Queckſilberfläche mehr als 12 Stunden lang ihre volle Beweglichkeit. Eine unbeweglich gewordene Queckſilberoberfläche wird im Vacuum nicht wieder beweglich.

Poggendorff iſt der Meinung, daß eine ſehr dünne, für das Auge unwahrnehmbare Oxyd- oder Oxydulſchicht als Urſache der relativen Unbeweglichkeit der Oberfläche anzuſehen ſey.

Siebenter Abſchnitt.

Elektrodynamik.

Magnetiſches Moment eines Kreisſtromes. Das Moment ei- 243
nes Kreisſtromes iſt, wie wir auf S. 243 geſehen haben,

$$G = \pi r^2 g,$$

wenn g die Stromſtärke nach der Weber'ſchen Stromeinheit bezeichnet; nach unſerer Stromeinheit haben wir

$$G = \pi r^2 s \,.\, 1{,}0477,$$

wenn s die Stromſtärke nach chemiſchem Maaß bezeichnet. Um die Kraft zu erhalten, mit welcher der Erdmagnetismus dieſen Kreisſtrom zu drehen ſtrebt, wenn ſeine Ebene in dem magnetiſchen Meridian fällt, haben wir G noch mit dem horizontalen Theil des Erdmagnetismus, alſo mit T zu multipliciren, wir erhalten alſo für dieſen Drehungsmoment

$$T\pi r^2 s \,.\, 1{,}0477.$$

Hier iſt aber für G und T noch das Weber'ſche abſolute Maaß als Einheit angenommen, ſoll dieſes Drehungsmoment auf die Schwerkraft reducirt werden, ſo haben wir obigen Werth noch mit 9808 zu dividiren, und ſo kommt

$$D = \frac{T\pi r^2 s \,.\, 1{,}0477}{9808} = 0{,}0003432\, T r^2 s.$$

Dieſer Werth von D giebt in Milligrammen die an einem Hebelarm von 1^{mm} wirkende Kraft an, mit welcher der Erdmagnetismus einen Kreisſtrom von der Stromſtärke s (nach chem. Maaß) zu drehen ſtrebt, deſſen Radius r iſt, wenn T den in abſolutem Maaß ausgedrückten Werth des horizontalen Theiles der magnetiſchen Erdkraft bezeichnet.

Nehmen wir z. B. an, durch 100 Windungen eines überſponnenen Kupferdrahtes ſey ein leicht um eine verticale Axe drehbarer Ring gebildet, deſſen Halbmeſſer im Mittel gleich 100^{mm} iſt; der Strom, welcher dieſe

Drahtwindungen durchläuft, habe nach chemiſchem Maaß die Stärke 10, ſo ergiebt ſich für jede Windung $D = 75{,}5^{mg}$ $(T = 2{,}2)$, für alle zuſammen alſo iſt

$$D = 7550^{mg}$$

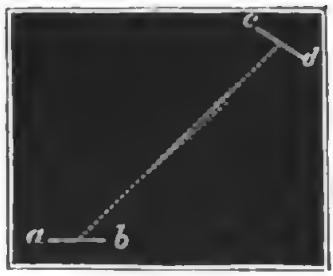
Der Erdmagnetismus ſtrebt alſo, den Ring, wenn er auf die fragliche Weiſe durchſtrömt iſt und ſeine Ebene in dem magnetiſchen Meridian fällt mit einer am Hebelarm 1^{mm} angreifenden Kraft von 7550 Milligramm, oder, was daſſelbe iſt, mit einem am Umfang des Ringes wirkenden Kraft von 75,5 Milligramm zu drehen.

244 **Weber's elektrodynamiſche Maaßbeſtimmungen.** Das Geſetz, nach welchem die Theilchen ab und cd zweier Stromleiter auf einander wirken, iſt nach Ampère durch die Gleichung

$$-\frac{i\,i'}{r^2}\,(\cos.\,\varepsilon - \tfrac{3}{2}\cos.\,\Theta\cos.\,\Theta')\,ss'$$

ausgedrückt, d. h. dieſe Gleichung drückt die Größe der Kraft aus, mit welcher die beiden Stromelemente (die jedoch nicht in einer Ebene zu liegen brauchen) auf einander in der Richtung derjenigen Linie wirken, welche ihre Mittelpunkte verbindet, vorausgeſetzt, daß r die Entfernung dieſer Mittelpunkte, i die Stromſtärke in dem einen, i' die im anderen Stromelemente, s aber die Länge des einen, s' die des anderen Stromelementes bezeichnet. Es iſt ferner ε der Winkel, welchen cd mit ab macht, Θ der Winkel, welchen das eine, Θ' der Winkel, welchen das andere Stromelement mit ihrer Verbindungslinie macht.

Fig. 231.



Ampère hat ſeine Theorie aus verhältnißmäßig ſehr mangelhaften Verſuchen abgeleitet; oft hat er auf negative Reſultate gebaut und alle ſeine Verſuche ſind nur qualitativer, nicht quantitativer Natur. Für eigentliche Meſſungen waren ſeine Apparate freilich nicht brauchbar.

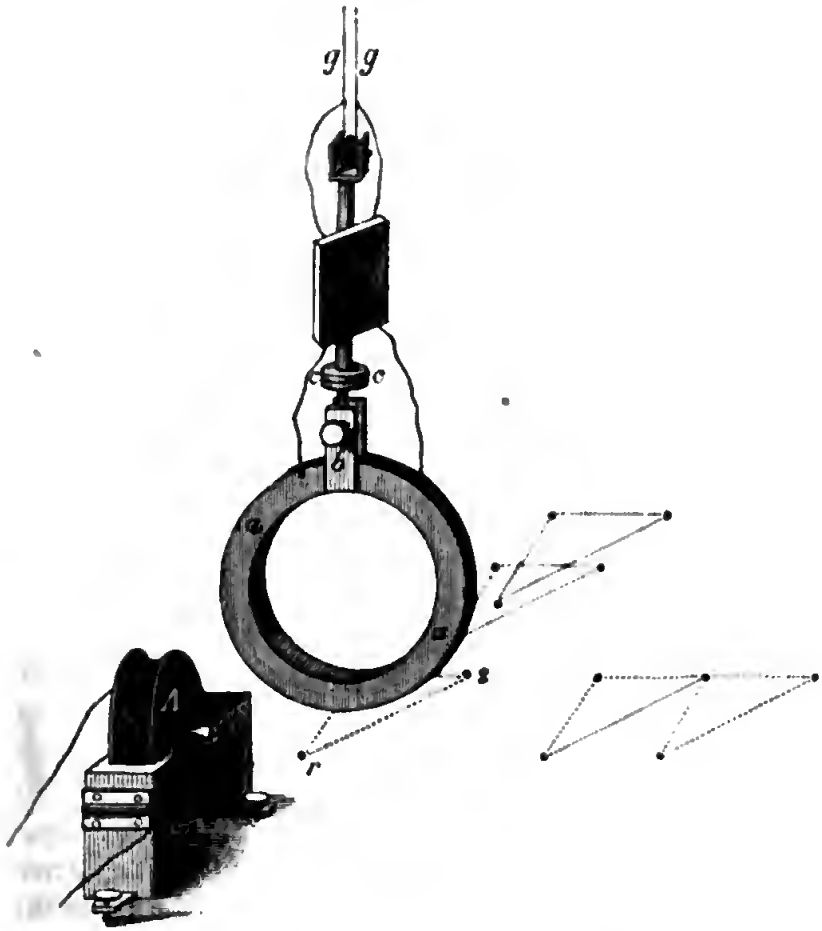
Seit Ampère iſt zur experimentellen Begründung und Fortbildung nichts weiter gethan worden, bis W. Weber den Gegenſtand wieder aufnahm und durch ſeine ausgezeichneten Arbeiten eine merkliche Lücke in der Wiſſenſchaft ausfüllte.

W. Weber's elektrodynamiſche Maaßbeſtimmungen finden ſich ausführlich in den von der Jablonowskiſchen Geſellſchaft bei Begründung der königl. ſächſiſchen Geſellſchaft der Wiſſenſchaften herausgegebenen Abhandlungen (Leipzig 1846); kürzer in Poggendorff's Annalen, Bd. LXXIII, S. 193.

Der Hauptgrund, weshalb sich die Ampère'schen Apparate nicht zu Messungen überhaupt, am wenigsten aber nicht zu feineren Messungen eignen, liegt darin, daß die Reibung, welche der bewegliche Stromleiter zu überwinden hat, viel zu bedeutend ist. Weber hat diese Schwierigkeit dadurch umgangen, daß er eine Drahtrolle bifilar aufhing und die beiden Aufhängungsdrähte als Zuleitung für den galvanischen Strom benutzte.

Eine der einfacheren Formen einer solchen Bifilarrolle sieht man in Fig. 232 abgebildet. Die Bifilarrolle *a* besteht aus einem dünnen

Fig. 232.



Messingringe von 100mm Durchmesser und 30mm Breite, welcher zwei parallele Messingscheiben von 123mm äußerem und 100mm innerem Durchmesser verbindet, und in 30mm Abstand von einander hält. Auf jenem Messingring zwischen den beiden Scheiben ist ein Kupferdraht von $\frac{1}{3}$mm Durchmesser, der mit Seide übersponnen ist, ungefähr 3000 mal herum-

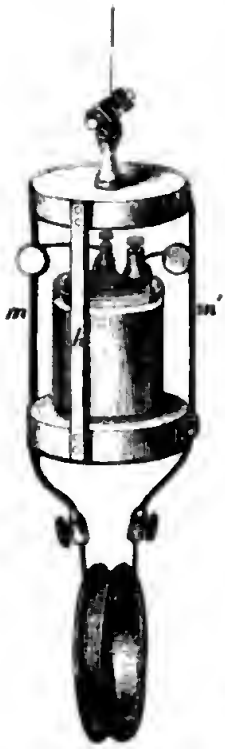
gewunden, ſo daß er den Zwiſchenraum zwiſchen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahtes wurden die beiden Meſſingſcheiben durch eine meſſingene Klemme *b* verbunden, welche in ihrer Mitte den Torſionskreis *c* trägt. Er beſteht aus zwei (bei verticaler Stellung der Biſilarrolle) horizontalen Scheiben, von denen die untere mit der Biſilarrolle feſt verbunden iſt, während die obere ſich um eine verticale Axe drehen läßt. Der Torſionskreis dient dazu, die Biſilarrolle beliebig drehen und in die erforderliche Stellung bringen zu können, ohne die Aufhängedrähte aus ihrer parallelen Lage zu bringen. Die obere Scheibe des Torſionskreiſes trägt einen hölzernen Zapfen, welcher am oberen Ende eine Gabel mit einer ſehr beweglichen 20^{mm} Durchmeſſer haltenden Rolle trägt. Unter dieſe Rolle iſt ein ſeidener Faden weggeführt, welcher zu beiden Seiten der Rolle ſenkrecht nach oben geht und auf beiden Seiten etwas über der Rolle an den beiden Suspenſionsdrähten *g g* angeknüpft iſt. Mit den beiden Enden der Suspenſionsdrähte ſind nun noch die beiden Drahtenden der Rolle in Verbindung gebracht, ſo daß der galvaniſche Strom, in einem Aufhängedraht heruntерſteigend, in die Drahtrolle übergeht und nachdem er ihre Windungen durchlaufen hat, im anderen Suspenſionsdraht aufſteigend zurückkehrt. Die beiden Suspenſionsdrähte ſind an zwei an der Decke befindlichen iſolirten Haken befeſtigt, durch welche die Zuleitung des Stromes ſtattfindet. Die Aufhängedrähte ſind von Kupfer und bei 1 Meter Länge $^1/_6{}^{mm}$ dick.

Bei den Weber'ſchen Verſuchen wurde die Axe der Biſilarrolle in den magnetiſchen Meridian gebracht, ſo alſo, daß ihre Ebene rechtwinklig auf demſelben ſtand. An dem Holzzapfen iſt ein Spiegel befeſtigt, ſo daß man die Ablenkung der Rolle aus dieſer Gleichgewichtslage mit einem Fernrohr auf die bekannte Weiſe ableſen kann.

Der Benennung eines aufgehängten Magnetſtabes (Magnetometer) entſprechend, nennt Weber eine durch ihre Aufhängung leicht bewegliche, den Strom leitende Drahtrolle ein Dynamometer. Das eben beſchriebene iſt ein Biſilar-Dynamometer, die folgende in Figur 233 abgebildete Einrichtung dagegen entſpricht dem gewöhnlichen Magnetometer. Das Weſentliche derſelben beſteht darin, daß der kreisförmig gewundene Leiter ſammt dem Elektromotor, von welchem der Strom ausgeht, an einem Faden oder Drahte aufgehangen wird. Ein kleiner Grove'ſcher Becher ſteht zwiſchen zwei Holzplatten, welche durch zwei Meſſingſtäbchen *m m'* und einem Holzſtab *h* mit einander verbunden ſind; die dem Stab *h* gegenüber liegende Seite bleibt frei, damit man den Becher bequem einſtellen kann. In eine Verſtärkung der Stäbchen *m* und *m'* ſind die zum poſitiven und negativen Pol führenden Drahtſtücke eingeſchraubt. Die Verlängerungen von *m* und *m'* tragen die Drahtrolle.

Diese Vorrichtungen lassen sich gewiß durch geeignete Abänderungen auch in solche Formen bringen, die zwar weniger zu feinen Messungen geeignet sind, aber sehr gut zu Vorlesungsversuchen statt des Ampère'schen Apparates dienen können.

Fig. 233



Wenn ein galvanischer Strom das Bifilar-Dynamometer durchläuft, so wird es aus seiner oben bezeichneten Gleichgewichtslage abgelenkt werden, sobald man ihm einen Magnetstab oder auch eine zweite galvanisch durchströmte Drahtrolle nähert.

Die feste Drahtrolle, durch welche Weber auf die Bifilarrolle einwirkte, ist gleichfalls in Fig. 232 abgebildet. Sie besteht aus zwei dünnen parallelen Messingplatten von 89 Millimeter Durchmesser, welche von einer $5\frac{1}{2}$ Millimeter dicken messingenen Axe in 30^{mm} Abstand von einander festgehalten werden; diese Axe ragt auf beiden Seiten um 10^{mm} vor. Auf dem zwischen den beiden Scheiben befindlichen Theil der Axe ist ein mit Seide übersponnener $\frac{1}{3}^{mm}$ dicker Kupferdraht ungefähr 1000 mal herumgewunden, so daß er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt.

Zur festen Aufstellung dieser Rolle dient ein hölzernes Gestell, welches auf Füßen mit Stellschrauben steht. Der vordere Fuß dieses Gestelles kann mittelst eines Charnieres aufgeschlagen und dann die feste Rolle in die bewegliche eingeschoben und so aufgestellt werden, daß die drei Stellschrauben auf die Punkte r, s, t der Tischplatte zu stehen kommen (t ist in der Figur verdeckt). Bei dieser Stellung fallen die Mittelpunkte der festen und der beweglichen Rolle zusammen. Man kann aber auch die feste Rolle nördlich (wie es in der Figur der Fall ist) oder südlich, östlich oder westlich aufstellen. Um die feste Rolle jederzeit leicht in bestimmten Entfernungen von der beweglichen aufstellen zu können, sind auf der Tischplatte, wie es die Figur andeutet, eine Reihe von Punkten bezeichnet, auf welche man nur die drei Stellschrauben zu setzen braucht, damit der Mittelpunkt der festen Rolle in den erwähnten Richtungen 300, 400, 500 oder 600 Millimeter weit von dem Mittelpunkte der beweglichen entfernt ist.

Eine erste Beobachtungsreihe wurde bei derjenigen Stellung der festen Rolle gemacht, für welche die Mittelpunkte beider Rollen zusammenfallen. Ein und derselbe Strom wurde durch die Bifilarrolle und dann durch die feste Rolle hindurch geleitet und die Stärke des Stromes durch die Ablenkung gemessen, welche die feste Rolle an einem nördlich oder südlich

angebrachten Magnetometer bewirkt. Die Anordnung des Verſuchs iſt aus Fig. 235 erſichtlich. *b b* iſt die Biſilarrolle, *f f* die feſte Rolle und *m* das

Fig. 234.

Fig. 235.

Magnetometer, während bei *u* und *v* Fernröhre mit Scalen zur Beobachtung der Drehung von *b* und *m* aufgeſtellt ſind.

Wenn der Strom von 1 bis 3 Grove'ſchen Bechern gleichzeitig durch beide Rollen geht, ſo wird die Ablenkung der Biſilarrolle ſo groß, daß ſie weit über die Gränzen der Beobachtungsſkale hinausgeht, während der Strom der feſten Rolle an dem Magnetometer eine

für die Messung ganz geeignete Ablenkung hervorbringt. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, brachte Weber an den Zuleitungsdrähten für die Bifilarrolle eine Nebenschließung an, durch welche die Stromstärke in der Bifilarrolle im Verhältniß von 246,26 zu 1 vermindert wurde, während der Strom in der festen Rolle unverändert bleibt. Freilich ist jetzt die Stromstärke in beiden Rollen nicht mehr dieselbe, die Stromstärke der einen steht aber in einem constanten Verhältniß zu der in der anderen

Bei Anwendung von 1, 2 und 3 Grove'schen Bechern wurden für die correspondirenden Ablenkungen der Bifilarrolle und des Magnetometers nach den erforderlichen Reductionen folgende Mittelwerthe erhalten:

Zahl der Grove'schen Becher.	Ablenkungen	
	des Magnetometers.	des Dynamometers.
3	108,43	440,04
2	72,40	198,25
1	36,33	50,91

Bezeichnet man die Ablenkungen der Bifilarrolle mit δ, die des Magnetometers mit γ, so ergiebt sich

$$\gamma = 5{,}15534\sqrt{\delta},$$

denn berechnet man nach dieser Formel die Werthe von γ aus den beobachteten Werthen von δ, so erhält man der Reihe nach

108,14
72,59
36,77,

was mit den beobachteten Werthen so nahe zusammenfällt, daß die Differenzen innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler liegen:

Daraus folgt nun, daß die elektrodynamische Kraft, mit welcher zwei Leitungsdrähte auf einander wirken, durch welche Ströme von gleicher Intensität gehen, dem Quadrate dieser Intensität proportional ist, wie es in dem Grundprincip der Elektrodynamik vorausgesetzt ist.

Hierauf folgte nun eine größere Versuchsreihe, um zu erforschen, auf welche Weise die elektrodynamische Kraft, mit welcher die beiden Rollen

auf einander wirken, von ihrer gegenſeitigen Lage und Entfernung abhängt.

Zu dieſem Zweck wurde die feſte Rolle der Reihe nach nördlich, öſtlich, ſüdlich und weſtlich von der Bifilarrolle aufgeſtellt, wie dies ſchon oben auseinandergeſetzt worden iſt. Dieſes Syſtem der Anordnung verſchiedener Lagen und Entfernungen der beiden Drahtrollen entſpricht, wie man leicht ſieht, genau dem Syſtem der Anordnung verſchiedener Lagen und Entfernungen der beiden Magnete, welche Gauß ſeinen Meſſungen zu Grunde gelegt hat, um das Grundprincip des Magnetismus zu erweiſen. Der bifilar aufgehangene Ring vertritt hierbei die Stelle des Magnetometers oder der Magnetnadel, die feſte Rolle die Stelle des Ablenkungsſtabes.

Gleichzeitig mit den Ablenkungen des Dynamometers muß aber auch die Stromſtärke gemeſſen werden. Auf die bei der vorigen Verſuchsreihe angewandte Weiſe kann dies hier nicht geſchehen, weil die Stellung der feſten Rolle verändert wird; es wurde deshalb der Strom auch noch durch eine dritte unveränderlich feſt ſtehende Drahtrolle geführt und die Ablenkung gemeſſen, welche dieſe an einem Magnetometer bewirkt. Die ganze Anordnung iſt aus Fig. 236 zu erſehen.

Fig. 236.

b iſt die Bifilarrolle, *f* die feſte Rolle, *m* ein Magnetometer, welches 8 Meter weit von *b* entfernt iſt, *n* eine dritte, gleichfalls feſt aufgeſtellte Rolle von 618 Windungen, welche von einem Strom durchlaufen auf das Magnetometer wirkt. Der Strom geht von dem einen Pole der galvaniſchen Säule *a* zur Bifilarrolle, von dieſer zum Commutator *c*, dann über die Rolle *f* zur Rolle *n*, von dieſer zurück zum Commutator und von dieſem endlich zum anderen Pol der Säule.

Durch den Commutator kann alſo die Stromrichtung in *f* und *n* geändert werden, während ſie in der Bifilarrolle *b* ſtets dieſelbe bleibt.

Es wurde nun bei jeder gegenſeitigen Lage und Entfernung der beiden

Drahtrollen *f* und *b* die Stellung von *m* und *b* für die eine Stromrichtung ermittelt, dann der Strom in *f* und *n* mittelst des Commutators umgekehrt und nochmals die Stellung von *b* und *m* abgelesen. Die Differenz der beiden Ablesungen am Magnetometer ist dann das Maaß für die Stromstärke, die Differenz der beiden Ablenkungen am Dynamometer geben ein Maaß für die Kraft, mit welcher die beiden Drahtrollen *b* und *f* auf einander wirken.

Da wir nun wissen, daß die elektrodynamische Wirkung der beiden Drahtrollen auf einander dem Quadrat der Stromstärke proportional sind, so ist man, vermöge der am Magnetometer gemachten Messungen der Stromstärke, im Stande, die gemessenen Ablenkungen der Bifilarrolle auf gleiche Stromstärke zu reduciren.

Die folgende Tabelle giebt nun in kurzer Uebersicht die so reducirten Mittelwerthe, welche für die verschiedenen Lagen und Entfernungen erhalten werden. In der ersten Verticalreihe steht die Entfernung der Mittelpunkte von *b* und *f*; die folgenden Columnen enthalten die entsprechenden Ablenkungen der Bifilarrolle unter den in der Ueberschrift angegebenen Lagen, und zwar für gleiche Stromstärke.

Abstand in Millimetern.	Nördlich.	Oestlich.	Südlich.	Westlich.
300	77,16	189,14	77,06	190,62
400	34,78	77,61	34,77	77,28
500	18,17	39,37	18,30	39,16
600	—	22,53	—	22,38

Man sieht zunächst aus dieser Tabelle, daß die für gleiche Entfernung in entgegengesetzten, um 180° verschiedenen Richtungen enthaltenen Resultate so weit übereinstimmen, als die Beobachtungen verbürgt werden können.

Setzt man für diese sehr nahe gleichen Werthe ihr Mittel, so erhält man nach Verwandlung der Scalentheile in Grade, Minuten und Secunden folgende Tafel:

r	*v*	*v'*
0,3	0° 49′ 22″	0° 20′ 3″
0,4	0 20 8	0 9 2
0,5	0 10 12	0 4 44
0,6	0 5 50	

worin dieſelbe Bezeichnung gebraucht iſt, deren ſich Gauß in der Intensitas vis magneticae (Pogg. Ann. 1833. Bd. 28, S. 604; mein Lehrbuch der Phyſik 3te Aufl. 2ter Bd., S. 38) bei der Zuſammenſtellung der magnetiſchen Beobachtungen bedient hat. Was die Elemente betrifft, deren Kenntniß zur Ausführung dieſer Reduction nöthig ſind, ſo muß ich auf die Originalabhandlung verweiſen.

Nach dem Grundprincip der Elektrodynamik ſollen ſich nun hier wie dort die Tangenten der Ablenkungswinkel v und v' nach den fallenden ungeraden Potenzen von r entwickeln laſſen, und zwar ſoll

$$tang.\ v = \frac{a}{r^3} + \frac{b}{r^5}$$

$$tang.\ v' = \frac{a}{2r^3} + \frac{c}{r^5}$$

geſetzt werden können, wo a, b und c aus den Beobachtungen zu beſtimmende Conſtanten ſind. Setzt man in unſerem Falle

$$tang.\ v = \frac{0{,}0003572}{r^3} + \frac{0{,}000002755}{r^5}$$

$$tang.\ v' = \frac{0{,}0001786}{r^3} + \frac{0{,}000001886}{r^5},$$

ſo ergiebt ſich folgende Tafel berechneter Ablenkungen und deren Unterſchiede von den beobachteten

r	v	Unterſchied.	v'	Unterſchied.
0,3	0° 49′ 22″	0″	0° 20′ 4″	− 1″
0,4	0 20 7	+ 1	0 8 58	+ 4
0,5	0 10 8	+ 4	0 4 42	+ 2
0,6	0 5 49	+ 1	—	—

In dieſer Uebereinſtimmung der berechneten Werthe mit den beobachteten findet ſich alſo eine der allgemeinſten und wichtigſten Conſequenzen des Grundprincips der Elektrodynamik beſtätigt, daß nämlich für die elektrodynamiſchen Wirkungen in die Ferne gleiche Geſetze gelten wie für die magnetiſchen.

Bei dieſer Uebertragung der magnetiſchen Geſetze auf die elektrodynamiſchen Beobachtungen, werden die Werthe dreier Conſtanten aus den Beobachtungen ſelbſt abgeleitet, was nicht nöthig iſt, wenn man auf das Grundprincip der Elektrodynamik ſelbſt zurückgeht und daraus unmittelbar berechnet, welche Reſultate demnach die Beobachtungen hätten geben ſollen.

Von der Ausführung dieser Rechnung selbst müssen wir hier abstrahiren, weil sie mehr mathematische Hülfsmittel erfordert, als für den Standpunkt dieses Werkes zulässig sind; ich muß in dieser Beziehung wieder auf die Originalabhandlung verweisen, wo gezeigt ist, daß die beobachteten Ablenkungen mit den direct aus dem Ampère'schen Gesetz abgeleiteten so weit übereinstimmen, daß die Differenzen innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler liegen.

Bestimmung der Dauer momentaner Ströme mit dem Dynamometer. Weber hat von seinem Dynamometer eine sehr sinnreiche Anwendung gemacht, um die Dauer momentaner Ströme zu ermitteln. — Wenn die Stärke eines fortdauernden constanten Stromes bestimmt werden soll, so kann man sich dazu sowohl eines Galvanometers, also eines Instrumentes bedienen, in welchem durch den Strom eine Magnetnadel oder ein Magnetstab abgelenkt wird, oder auch des Dynamometers, bei welchem der Magnetstab durch eine bewegliche Drahtrolle ersetzt ist. Ist aber der Strom, dessen Stärke bestimmt werden soll, bloß von momentaner Dauer, so reicht die Beobachtung eines dieser beiden Instrumente nicht hin, weil die beobachtete Ablenkung nicht bloß von der Stromstärke, sondern auch von der Dauer des Stromes abhängt. In einem solchen Falle ist es also, um die Stromstärke kennen zu lernen, nothwendig, auch die Dauer des Stromes zu ermitteln. 245

Die beiden Instrumente, nämlich das Galvanometer (in unserm Falle ein Magnetometer) und das Dynamometer, ergänzen nun einander so, daß, wenn derselbe momentane Strom gleichzeitig durch beide hindurch geht, aus der beobachteten Ablenkung beider Instrumente sowohl die Stärke, als auch die Dauer des momentanen Stromes bestimmt werden kann. Diese wechselseitige Ergänzung gründet sich darauf, daß die beobachtete Ablenkung beider Instrumente von der Dauer des momentanen Stromes in gleicher Weise abhängt, nämlich derselben proportional ist, während die Ablenkung des Galvanometers der Stromstärke, die Ablenkung des Dynamometers aber (vorausgesetzt, daß derselbe Strom gleichzeitig durch die feste und die bewegliche Rolle geht) dem Quadrat der Stromstärke proportional ist.

Bezeichnet e die Ablenkung, welche am Galvanometer durch einen Strom von der Stärke i hervorgebracht wird, welcher während des kleinen Zeittheilchens t wirkte, so ist

$$e = nit \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

während die durch denselben Strom am Dynamometer hervorgebrachte Ablenkung

$$\varepsilon = oi^2 t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

iſt, wo n und o conſtante Factoren ſind.

Dividirt man mit der Gleichung 2) in die aufs Quadrat erhobene Gleichung 1), ſo ergiebt ſich

$$t = \frac{oe^2}{n^2 \varepsilon},$$

es handelt ſich alſo nur noch darum, die conſtanten Factoren o und n gehörig zu ermitteln, um auf dieſem Wege die Zeitdauer momentaner Ströme beſtimmen zu können. Zu dieſem Zweck müſſen wir aber etwas weiter ausholen.

Die Geſchwindigkeit, welche dem Magnetometer durch einen Strom von der Stärke i während des Zeittheilchens t (welches ſehr klein iſt gegen die Dauer einer Oscillation des Magnetometers) mitgetheilt wird, iſt

$$\frac{am}{p} it,$$

wenn a einen conſtanten Factor, m das magnetiſche Moment des Magnetſtabes und p ſein Trägheitsmoment bezeichnet Ebenſo iſt die Geſchwindigkeit, welche derſelbe Strom während derſelben kurzen Zeit der Biſilarrolle mittheilt,

$$\frac{b}{q} i^2 t,$$

wenn b ebenfalls einen conſtanten Factor und q das Trägheitsmoment der Biſilarrolle bezeichnet.

Dieſe Geſchwindigkeit, mit welcher die beiden Inſtrumente aus ihrer Gleichgewichtslage herausgetrieben werden, läßt ſich aber auch noch aus der beobachteten Elongation und der (für den Fall, daß kein Strom auf ſie einwirkt und keine Dämpfung ſtattfindet) beobachteten Schwingungsdauer derſelben berechnen; ſie iſt nämlich für das Magnetometer

$$\frac{e\pi}{s},$$

für das Dynamometer

$$\frac{\varepsilon\pi}{\sigma},$$

wenn e und ε die frühere Bedeutung haben und s die Schwingungsdauer des Magnetometers, σ die der Biſilarrolle bezeichnet. π iſt die Ludolfſche Zahl 3,14*).

---

*) Die Geſchwindigkeit, mit welcher ein Pendel ſeine Gleichgewichtslage paſſirt, um zur Höhe h anzuſteigen, iſt bekanntlich

$$v = \sqrt{2gh} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad a)$$

Daraus ergeben ſich denn folgende Gleichungen

$$\frac{am}{p} it = \frac{e\pi}{s}$$

und

$$\frac{b}{q} i^2 t = \frac{\varepsilon\pi}{\sigma}$$

und durch Combination beider

$$t = \frac{\pi b p^2 \sigma}{a^2 m^2 q s^2} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon}$$

und

$$= \frac{am}{b} \cdot \frac{q}{p} \cdot \frac{s}{\sigma} \cdot \frac{\varepsilon}{e}.$$

Um die Conſtanten a und b wegzuſchaffen, muß nun noch eine weitere Beobachtung gemacht werden; man muß nämlich die Ablenkungen e' und ε' beobachten, in welchen beide Inſtrumente verharren, wenn durch beide derſelbe conſtante Strom von der Stärke 1 geht. Der Werth von e' muß nun gleich ſeyn dem Quotienten, welchen man erhält, wenn man die ablenkende Kraft am durch die Directionskraft des Magnetometers dividirt. Dieſe Directionskraft ergiebt ſich aber aus der beobachteten Schwingungszeit s und dem Trägheitsmoment p, ſie iſt $\frac{\pi^2 p}{s^2}$, mithin haben wir die Gleichung:

In Fig. 237 ſey nun m der Mittelpunkt der Schwingung, ab die Steighöhe, h und ac die Elongation e, ſo iſt bekanntlich ao die mittlere proportionale zwiſchen ab und an, oder es iſt

Fig. 237.

$$h : e = e : 2l$$

wenn l die Pendellänge bezeichnet, und daraus

$$h = \frac{e^2}{2l};$$

ſetzen wir in die Gleichung a) dieſen Werth von h, ſo kommt

$$v = \sqrt{\frac{g e^2}{l}};$$

nun aber iſt bekanntlich $g = \frac{\pi^2 l}{s^2}$, wenn s die Schwingungsdauer des Pendels bezeichnet und folglich

$$v = \sqrt{\frac{\pi^2 l}{s^2} \cdot \frac{e^2}{l}} = \frac{\pi e}{s}$$

Dieſe für das Pendel abgeleitete Beziehung können wir aber ohne Weiteres auf unſern Fall übertragen.

$$e' = am\,\frac{s^2}{\pi^2 p},$$

ebenſo ergiebt ſich

$$\varepsilon' = \frac{b\sigma^2}{\pi^2 q}.$$

Subſtituirt man nun die aus dieſen beiden Gleichungen für a und b gezogenen Werthe im obigen Werth von t und i, ſo kommt

$$t = \frac{1}{\pi}\cdot\frac{s^2}{\sigma}\cdot\frac{\varepsilon'}{e'^2}\cdot\frac{e^2}{\varepsilon'}$$

$$i = \frac{\sigma}{s}\cdot\frac{e'}{\varepsilon'}\cdot\frac{\varepsilon'}{e}.$$

246 **Wiederholung des Ampère'ſchen Fundamentalverſuchs mit Reibungselektricität, und Meſſung der Dauer des elektriſchen Funkens bei Entladung einer Leidner Flaſche.** Auch zu Verſuchen mit Reibungselektricität hat Weber ſein Dynamometer benutzt. Während die Mittelpunkte beider Drahtrollen zuſammenfielen, wurde das eine Drahtende der beweglichen mit dem einen Drahtende der feſten Rolle verbunden; von den beiden übrigen Drahtenden wurde ſodann das eine zu der äußern Belegung einer Leidner Batterie, das andere zu einer naſſen Schnur geführt, welche an den iſolirten Auslader geknüpft war. Die Batterie wurde geladen und endlich der Auslader dem metallenen Knopfe genähert, welcher mit der innern Belegung der Batterie in Verbindung ſtand. In dem Augenblicke nun, in welchem die Entladung der Batterie durch die naſſe Schnur und die Rollen des Dynamometers ſtattfand, wurde das vorher in Ruhe befindliche Dynamometer in Schwingungen geſetzt, welche oft einen Bogen von mehreren Hundert Scalentheilen umfaßte. Der am Fernrohr ſtehende Beobachter konnte leicht die Größe der erſten Elongation und die Seite, nach welcher ſie erfolgte, beſtimmen.

Die Richtung der Ablenkung ergab ſich als diejenige, welche durch das Ampère'ſche Fundamentalgeſetz ſchon im Voraus beſtimmt war. Somit iſt bewieſen, daß der Ampère'ſche Fundamentalverſuch auch mit dem Strome der gemeinen Elektricität gemacht werden kann.

Als außer dem Dynamometer auch noch ein Galvanometer in den Schließungsbogen eingeſchaltet war, wurden folgende zuſammengehörige Beobachtungen gemacht:

Länge der Schnur	Elongation des Galvanometers $= e$	Elongation des Dynamometers $= \varepsilon$	$\frac{e^2}{\varepsilon}$
2000 mm	79,9	65,6	97,3
1000	76,6	153,0	38,3
500	82,3	293,8	23,0
250	87,3	682,0	11,2
125	93,2	aus der Scala	
250	82,9	609,1	11,3
500	95,6	422,8	21,6
1000	95,8	210,1	43,7
2000	101	98	105,0

Die Regelmäßigkeit dieser Resultate macht es wahrscheinlich, daß bei diesen Versuchen mit der nassen Schnur wirklich alle Elektricität der Batterie durch die Drahtleitung hindurchgehe und darin einen Strom bilde, der dem Strome einer galvanischen Säule einigermaßen an Continuirlichkeit vergleichbar seyn dünfte. Wäre dies der Fall, so könnte man von den vorliegenden Beobachtungen eine wichtige Anwendung machen, indem sich alsdann die im vorigen Paragraphen entwickelten Regeln darauf anwenden ließen, um die Dauer des Stromes, welche mit der Dauer des Entladungsfunkens als gleich betrachtet werden darf, zu bestimmen. Um die relativen Zeitmaaße, welche schon obige Tabelle in der mit $\frac{e^2}{\varepsilon}$ überschriebenen Columne beigefügt sind, auf absolute zu reduciren, bedarf es nach dem vorigen Paragraphen nur noch eines Versuches mit einem constanten durch beide Instrumente gehenden Strome. Weber hat diesen Versuch ausgeführt und gefunden, daß man obige Werthe von $\frac{e^2}{\varepsilon}$ mit 1188 zu dividiren habe, um die Dauer des Stromes in Secunden zu erhalten. Hiernach ergeben sich aus obigen Beobachtungen folgende Mittelwerthe:

Länge der Schnur	Dauer des Funkens
2000 Millimeter	0,0851 Secunden
1000 »	0,0345 »
500 »	0,0187 »
250 »	0,0095 »

Es ergiebt sich hieraus, daß die Dauer des Funkens der Länge der Schnur fast proportional ist.

Dadurch ist auch die Ansicht gerechtfertigt, welche Rieß über die Dauer des Entladungsfunkens ausgesprochen hat. (S. Oben S. 122).

247 **Ergänzung des statischen Gesetzes der elektrischen Abstoßung.** Das Ampère'sche Gesetz bezieht sich nur auf die gegenseitige Wirkung zweier Stromelemente; in unseren Versuchen können wir aber nicht die Einwirkung zweier Stromelemente, sondern nur das gegenseitige Verhalten geschlossener Ströme einer Prüfung unterwerfen; von einer experimentellen Bestätigung des Ampère'schen Gesetzes kann also nur indirect die Rede seyn. Setzt man voraus, wie es wohl nicht bezweifelt werden kann, daß die Total-Wirkung zweier geschlossener Ströme auf einander gleich ist der Summe der Wirkungen, welche die Elemente des einen geschlossenen Stromes auf die Stromelemente des andern ausüben, so läßt sich, von dem Ampère'schen Gesetz ausgehend, die gegenseitige Wirkung geschlossener Ströme berechnen, und wenn diese berechneten Resultate mit der Erfahrung übereinstimmen, so kann man auch wieder rückwärts auf die Richtigkeit des Ampère'schen Gesetzes schließen, und in dieser Weise hat Weber auch durch die genauesten Messungen den experimentellen Beweis für die Gültigkeit des Ampère'schen Gesetzes geliefert.

Weber ist aber hierbei nicht stehen geblieben, er hat das Ampère'sche Gesetz auch noch in einen inneren Zusammenhang mit den übrigen Grundgesetzen der Elektricität gebracht, denn von ihm ausgehend, ist er zur Aufstellung eines allgemeinen Gesetzes der elektrischen Wirkung gelangt, welches sowohl die Elektrostatik, wie die Elektrodynamik umfaßt und aus welchem sich denn das Inductionsgesetz als nothwendige Folge ergiebt. Die vollständige Entwickelung des eben angedeuteten Zusammenhanges findet sich in der bereits im vorigen Paragraphen citirten Abhandlung, deren Verständniß jedoch ziemlich bedeutende mathematische Kenntnisse erfordert. — Herr Professor Weber hatte die Güte, mir brieflich die Grundzüge einer elementaren Entwickelung seiner schönen Theorie mitzutheilen; es freut mich, dadurch in Stand gesetzt zu seyn, meinen Lesern diesen schwierigen Gegenstand in einer Klarheit und Präcision vorlegen zu können, die ich ohne diese gütige Unterstützung, für die ich dem verehrten Göttinger Physiker meinen aufrichtigsten Dank sage, vergebens angestrebt haben würde. —

Betrachten wir die elektrischen Fluida in zwei Stromelementen A und B, deren Wechselwirkung wir untersuchen wollen, so haben wir in denselben gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität, welche sich in jedem Elemente in entgegengesetztem Sinne bewegen. Diese gleichzeitige

entgegengesetzte Bewegung positiver und negativer Elektricität, wie man sie in allen Theilen eines linearen Drahtes anzunehmen pflegt, kann in der Wirklichkeit zwar nicht existiren, kann aber für unsern Zweck als eine ideale Bewegung angesehen werden, welche in den von uns betrachteten Fällen, wo es sich bloß um Wirkungen in der Ferne handelt, die wirklich vorhandenen Bewegungen hinsichtlich aller in Betracht zu ziehenden Wirkungen vertritt und dabei den Vorzug hat, sich besser der Rechnung unterwerfen zu lassen.

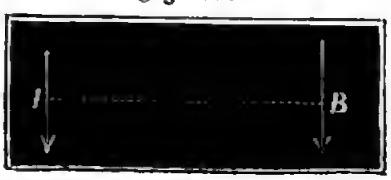
Alsdann haben wir in den zwei Stromelementen, die wir betrachten, vier Wechselwirkungen elektrischer Massen, zwei abstoßende zwischen den beiden positiven und den beiden negativen Massen in den Stromelementen, und zwei anziehende zwischen der positiven Masse in A und der negativen Masse in B, und ferner zwischen der negativen Masse in A und der positiven in B.

Jene beiden abstoßenden Kräfte müßten, wenn die bekannten elektrostatischen Gesetze eine unbedingte Anwendung auf unsern Fall fänden, den beiden anziehenden Kräften gleich seyn, weil die gleichartigen sich abstoßenden Massen den ungleichartigen sich anziehenden gleich sind und aus gleicher Entfernung auf einander wirken.

Nun aber wirken zwei Stromelemente in der That anziehend oder abstoßend auf einander; wenn also irgend ein Zusammenhang zwischen den Grundgesetzen der Elektrostatik und der Elektrodynamik stattfinden soll, so muß man annehmen, daß die gegenseitige Einwirkung elektrischer Massen durch ihren Bewegungszustand modificirt werde. Das statische Gesetz der elektrischen Abstoßung bedarf also einer Ergänzung, wenn die Gesetze der Elektrodynamik daraus abgeleitet werden sollen, und diese Ergänzung muß aus dem durch die Erfahrung geprüften und bestätigten Gesetze der elektrodynamischen Kräfte gefunden werden, welches Ampère aufgestellt hat. Diese Ergänzung ergiebt sich auf die einfachste Weise aus der Betrachtung zweier sprecieller Fälle, welche das Ampère'sche Gesetz umfaßt, wo dasjenige, was die gesuchte Ergänzung leisten soll, sich am einfachsten bestimmen läßt.

Fig. 238 a.

Fig. 238 b.



Der erste dieser beiden Fälle ist der, wo die Richtung der beiden Stromelemente A und B mit der sie verbindenden Geraden zusammenfällt, wie dies Fig. 238 a angedeutet ist; der zweite Fig. 238 b dargestellte Fall dagegen ist der, wo die Richtung beider Elemente parallel ist und senkrecht steht zu den sie verbindenden Geraden.

Dieſe beiden ſpeciellen Fälle haben das mit einander gemein, daß die gleichnamigen Elektricitäten der beiden aufeinander wirkenden Elemente in Größe und Richtung gleiche Bewegung haben und ihre gegenſeitige Lage daher unverändert bleibt. Es folgt daraus, daß auf dieſe gleichnamigen Elektricitäten (trotz ihrer Bewegung) das ſtatiſche Geſetz unveränderte Anwendung findet. Die geſuchte Ergänzung des ſtatiſchen Geſetzes kommt dann bloß für die Wechſelwirkung der ungleichnamigen Elektricitäten in Betracht (welche gleiche aber entgegengeſetzte Bewegung haben) und läßt ſich daher leichter beſtimmen.

Dieſe beiden ſpeciellen Fälle unterſcheiden ſich aber von einander dadurch, daß die entgegengeſetzte Bewegung der ungleichnamigen Elektricitäten im erſten Falle bloß eine relative Geſchwindigkeit ohne Beſchleunigung, im andern Falle bloß eine relative Beſchleunigung ohne Geſchwindigkeit hervorbringt. Betrachten wir dieſe beiden Fälle etwas näher.

Erſter Fall.

α bezeichne die Länge der Stromelemente, i die Stromintenſität, r die Entfernung der beiden Elemente. Nach Ampère iſt ihre Anziehungskraft (wenn ε, Θ, Θ' die Winkel bezeichnen, welche die Richtung der Stromelemente unter einander und mit r bilden)

$$= aa\,\frac{\alpha\alpha}{r.r}\,ii\,(cos.\varepsilon - {}^3/_2\ cos.\Theta\ cos.\Theta')$$

oder weil in dieſem Falle $\varepsilon = \Theta = \Theta' = o$ iſt

$$= -\frac{aa}{2}\,\frac{\alpha\alpha}{r\cdot r}\,ii \text{ (Anziehungskraft)}$$

$$= +\frac{aa}{2}\,\frac{\alpha\alpha}{r\cdot r}\,.\,ii \text{ (Abſtoßungskraft).}$$

Betrachtet man aber nun die Elektricitäten in den beiden Elementen und deren Wechſelwirkung, ſo kann man die in einem Elemente enthaltene, ſeiner Länge α proportionale Elektricitätsmenge durch

$$\pm e\alpha$$

darſtellen, wo e diejenige Elektricitätsmenge bezeichnet, welche der Länge $= 1$ entſpricht. Die Geſchwindigkeit, mit welcher dieſe Elektricität ſich bewegt, werde mit

$$\pm u$$

bezeichnet. Es findet nun hier das ſtatiſche Geſetz der Abſtoßung, ſowohl auf die Wechſelwirkung der poſitiven Elektricitäten in den beiden Elementen, als auch auf die der negativen ſeine Anwendung, weil ſie nur eine gemeinſame Bewegung haben, welche ihre gegenſeitige Lage nicht ändert. Jede von dieſen beiden Wechſelwirkungen giebt die Kraft

$$+\frac{ee}{rr}\,\alpha\cdot\alpha,$$

also zusammen

$$\frac{2ee}{rr} \cdot \alpha\alpha;$$

dagegen bedarf das statische Gesetz für die ungleichnamigen Elektricitäten in beiden Elementen einer Correction, weil die entgegengesetzte Geschwindigkeit, mit welcher sich beide in derselben geraden Linie bewegen, eine relative Geschwindigkeit $v = 2u$ hervorbringt. Ohne diese Correction würde sich aus dem statischen Gesetze für jedes Paar die Abstoßungskraft

$$-\frac{ee}{rr} \cdot \alpha\alpha,$$

also zusammen für beide Paare

$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha$$

ergeben. Mit der Correction möge diese Kraft durch

$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha(1-x)$$

angedeutet werden. Die Summe aller vier Wechselwirkungen ist alsdann

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha - \frac{2ee}{rr}\alpha\alpha(1-x) = +\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha x \text{ (Abstoßungskraft).}$$

Dieser Werth ist dem nach Ampère bestimmten gleichzusetzen und daraus ist x zu bestimmen. Es ist also

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha x = \frac{aa}{2}\frac{\alpha\alpha}{rr}ii,$$

folglich

$$x = \frac{aa}{4}\frac{ii}{ee}.$$

Nun wird die Stromintensität i durch die Elektricitätsmenge bestimmt, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt strömt, d. i.

$$i = eu = \tfrac{1}{2}ev,$$

folglich

$$x = \frac{aa}{16}vv.$$

Substituirt man diesen Werth von x, so erhält man die Abstoßungskraft zweier elektrischen Massen ε und ε' allgemeiner durch die statische Formel mit Hinzufügung der von der relativen Geschwindigkeit abhängigen Correction bestimmt

$$= \frac{\varepsilon\varepsilon'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16}vv\right)$$

So führt uns denn dieser erste Fall der elektrodynamischen Wirkung zwischen zwei Stromelementen, wenn wir ihn mit dem elektrostatischen

Grundgeſetz in Beziehung ſetzen wollen, zu der Annahme, daß zwei bewegte elektriſche Maſſen deſto ſchwächer (abſtoßend oder anziehend, jenachdem ſie gleichnamig oder ungleichnamig ſind) auf einander wirken, je größer das Quadrat ihrer relativen Geſchwindigkeit iſt.

Zweiter Fall.

Der zweite Fall unterſcheidet ſich von dem erſten bloß dadurch, daß $\Theta = \Theta' = 90^0$ iſt ($\varepsilon = o$ bleibt wie vorher). Die Anziehungskraft beider Stromelemente iſt alſo nach Ampère

$$aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii\,(\cos.\varepsilon - {}^3/_2\cos.\Theta\cos.\Theta') = +aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii$$

oder deren Abſtoßungskraft

$$= -aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii.$$

Das ſtatiſche Geſetz der Abſtoßung findet auch hier ſowohl auf die poſitive Elektricität in beiden Elementen, als auch auf die negative Anwendung, weil ſie eine gemeinſame Bewegung haben, welche ihre gegenſeitige Lage nicht ändert. Als Summe dieſer beiden Wechſelwirkungen hat man alſo wieder

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha.$$

Dagegen bedarf das ſtatiſche Geſetz für die ungleichnamigen Elektricitäten in beiden Elementen einer Correction, weil dieſelben nach entgegengeſetzten Richtungen ſich bewegen, und die corrigirte Abſtoßungskraft der beiden Paare zuſammengenommen kann durch

$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha\,(1+y)$$

angedeutet werden. Die Summe aller vier Wechſelwirkungen wird dann erhalten

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha - \frac{2ee}{rr}\alpha\alpha\,(1+y) = -\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha y\,(\text{Abſtoßungskraft});$$

wird nun dieſer Werth dem nach Ampère beſtimmten gleichgeſetzt, nämlich

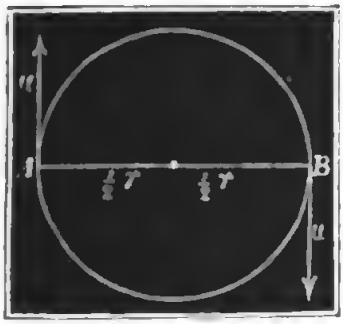
$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha y = -aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii,$$

ſo erhält man daraus für y

$$y = \frac{aa}{2}\frac{ii}{ee} = \frac{aa}{2}uu.$$

Die mit der Geschwindigkeit u in entgegengesetzten Richtungen strömenden Elektricitäten der beiden Elemente A und B bewegen sich nach den Tangenten eines um die Mitte von r gezogenen Kreises und bleiben immer diametral gegenüber. Die Beschleunigung g' einer jeden, in Beziehung auf den Mittelpunkt des Kreises ist, nach den bekannten Gesetzen der Kreisbewegung, den Quadraten ihrer Geschwindigkeit nach der Richtung der Tangenten ($= uu$) direct und dem Halbmesser des Kreises ($= \frac{1}{2}r$) umgekehrt proportional, oder es ist

Fig. 239.



$$g' = \frac{2uu}{r},$$

folglich ist die Summe der Beschleunigungen beider in Beziehung auf den Mittelpunkt, d. h. ihre relative Beschleunigung gegeneinander

$$g = 2g' = \frac{4uu}{r}$$

und hieraus

$$uu = \frac{gr}{4}.$$

Substituirt man diesen Werth, so ist

$$y = \frac{aa}{8}\,gr.$$

Mit diesem Werthe von y erhält man die Abstoßungskraft zweier elektrischen Massen ε und ε' allgemeiner durch die statische Formel-Hinzufügung der von der relativen Beschleunigung abhängigen Correction bestimmt

$$= \frac{\varepsilon\varepsilon'}{rr}\left(1 + \frac{aa}{8}\,gr\right).$$

Faßt man endlich die beiden von der relativen Geschwindigkeit und von der relativen Beschleunigung abhängigen Correctionen zusammen und fügt man sie der durch das statische Gesetz gegebenen Formel hinzu, so erhält man nun das allgemeine Grundgesetz der Wirkung zweier elektrischen Massen ε und ε', nämlich

$$\frac{\varepsilon\varepsilon'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16}\,vv + \frac{aa}{8}\,gr\right)$$

und diese Formel bestimmt, auf alle anderen Fälle angewandt, die Wechselwirkung zweier beliebig gegeneinander gestellter Stromelemente A und B stets ebenso wie das Ampère'sche Gesetz, wenn man nach derselben die vier

Wechſelwirkungen, welche zwiſchen den beiden elektriſchen Maſſen in A und den beiden in B ſtattfinden, berechnet und ſummirt.

Hierdurch ſind die Wirkungen gleichförmiger elektriſcher Strömungen in ruhenden Leitungsdrähten in der Ferne völlig beſtimmt; wir können nun aber auch dieſe Principien in Anwendung bringen, um zu ermitteln, welche Wirkungen ein durchſtrömter bewegter Leitungsdraht oder ein ſolcher, deſſen Stromintenſität zu- oder abnimmt, in einem ſtromloſen Drahtelemente hervorbringt, und ſo ergeben ſich aus dem in dieſem Paragraphen ermittelten allgemeinen elektriſchen Geſetze auch die unter dem Namen der Volta-Induction bekannten Erſcheinungen. Des Zuſammenhanges wegen wollen wir die theoretiſche Ableitung des Inductionsgeſetzes hier unmittelbar folgen laſſen.

248 **Weber's Theorie der Volta-Induction.** Das ſo eben gefundene Grundgeſetz kann auch auf den Fall der Induction angewendet und das allgemeine Inductionsgeſetz daraus abgeleitet werden, und zwar am einfachſten mit Hülfe der folgenden geometriſchen Conſtruction.

1) Es ſey α das inducirende Stromelement, welches dem durchſtrömten Leitungsdrahte RR' angehört: wir wollen die Wirkung ermitteln, welche das Stromelement α auf α', d. h. auf ein Element des ſtromloſen Leitungsdrahtes SS' ausübt, wenn der durchſtrömte Draht bewegt wird. Es ſtelle nun αA die Geſchwindigkeit dar, mit welcher das Element α ſelbſt bewegt wird, αB und $\alpha B'$ ſeyen die Stromgeſchwindigkeiten der beiden Elektricitäten in demſelben. Setzt man αA mit αB zuſammen, ſo erhält man die Geſchwindigkeit αC für die poſitive Elektricität; ſetzt man αA mit $\alpha B'$ zuſammen, ſo erhält man die Geſchwindigkeit $\alpha C'$ der negativen Elektricität.

Fig. 240.

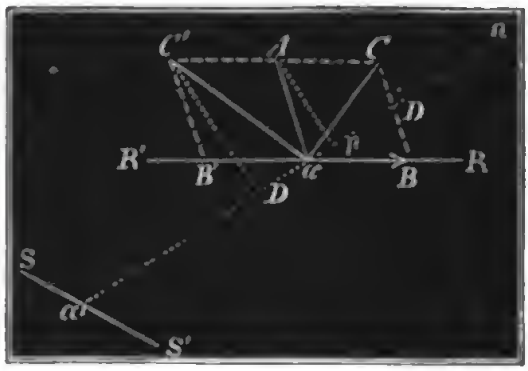
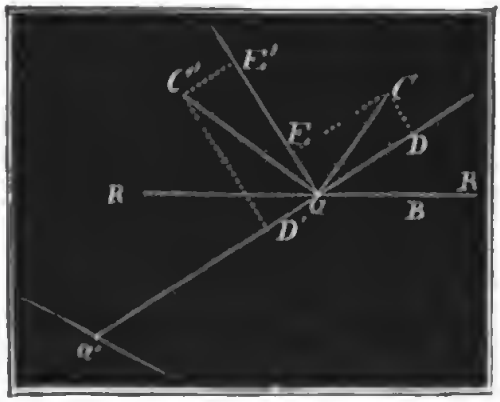


Fig. 241.



2) Man ziehe nun die Verbindungslinie $\alpha\alpha' = r$. Die

Geſchwindigkeit αC wird zerlegt in die Geſchwindigkeit αD Fig. 241 nach der Richtung von r und in die Geſchwindigkeit αE rechtwinklig darauf. Ebenſo wird die Geſchwindigkeit $\alpha C'$ zerlegt in die Geſchwindigkeit $\alpha D'$ nach r und $\alpha E'$ rechtwinklig darauf. Es iſt nun $\alpha D = v$ die relative Geſchwindigkeit der poſitiven, $\alpha D' = v'$ die relative Geſchwindigkeit der negativen Elektricität in α gegen die ruhende Elektricität in α'.

3) Aus den Tangentialgeſchwindigkeiten (für α' als Mittelpunkt) $\alpha E = u$ und $\alpha E' = u'$ ergiebt ſich dagegen aus dem Geſetze der Kreisbewegung die relative Beſchleunigung der poſitiven Elektricität in α gegen α'

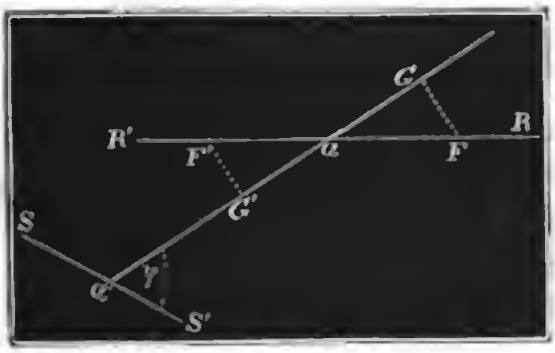
$$g'' = \frac{u\,u}{r}$$

und der negativen Elektricität in α gegen α'

$$g''' = \frac{u'\,u'}{r}\,.$$

4) Soll die Theorie nicht allein die Induction durch Annähern und Entfernen des inducirenden Drahtes gegen den inducirten, ſondern auch die Induction durch Entſtehen und Verſchwinden oder, allgemeiner geſagt, durch Verſtärkung und Schwächung des Hauptſtroms umfaſſen, ſo müſſen wir den Strom in α ſelbſt veränderlich nehmen, wir müſſen alſo annehmen, daß in dem Leitungsdrahte RR' ſelbſt eine Strombeſchleunigung oder Verzögerung ſtattfinde. Es ſtelle nun αF und $\alpha F'$ Fig. 242 die Strombeſchleunigung für die poſitive und negative Elektricität in α dar, ſo giebt die Zerlegung nach der Richtung von r die daraus entſpringende relative Beſchleunigung gegen α', nämlich für die poſitive Elektricität

Fig. 242.



$$\alpha G = g_0$$

für die negative Elektricität

$$\alpha G' = -\,g_0$$

folglich die ganze relative Beſchleunigung für die poſitive Elektricität

$$g = g'' + g_0 = \frac{u\,u}{r} + g_0$$

für die negative Elektricität

$$g' = g''' - g_0 = \frac{u'u'}{r} - g_0$$

hiernach erhält man folgende vier Wechſelwirkungen

von $+ e\alpha$ auf $+ e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,\nu\nu + \frac{aa}{8}\,gr\right)$

von $- e\alpha$ auf $+ e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,\nu'\nu' + \frac{aa}{8}\,g'r\right)$

von $+ e\alpha$ auf $- e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,\nu\nu + \frac{aa}{8}\,gr\right)$

von $- e\alpha$ auf $- e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,\nu'\nu' + \frac{aa}{8}\,g'r\right)$

Die Summe dieſer vier Wechſelwirkungen iſt Null; eine elektrodynamiſche Wirkung findet alſo zwiſchen dem durchſtrömten Elemente α und dem ſtromloſen α' nicht ſtatt. In Summe aber iſt die Kraft

auf $+ e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left\{\frac{aa}{16}\,(\nu'\nu' - \nu\nu) - \frac{aa}{8}(g' - g)r\right\}$

auf $- e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left\{\frac{aa}{16}\,(\nu'\nu' - \nu\nu) - \frac{aa}{8}(g' - g)r\right\}$

auf die poſitive und negative Elektricität in α' wirken alſo ungleiche Kräfte, und die Kraft, welche ſie zu trennen ſtrebt, d. h. die Inductionskraft in der Richtung von r iſt alſo die Differenz dieſer beiden Kräfte, nämlich

$$\frac{2ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\,\frac{aa}{16}\left\{\nu'\nu' - \nu\nu - \dot{2}r\,(g' - g)\right\}$$

Subſtituirt man den geometriſch conſtruirten Werthen von ν, ν', u und u' ihre trigonometriſchen Ausdrücke, ſo erhält man das Inductionsgeſetz in der Form, in welcher es gebraucht wird. Setzt man nämlich in 1)

$$\alpha A = c\,;\ \alpha B = \frac{i}{e}\,;\ \text{Winkel}\ A\alpha B = \varepsilon,$$

ſo erhält man

$$(\alpha C)^2 = cc + \frac{ii}{ee} + \frac{2ci}{e}\,cos.\,\varepsilon$$

$$(\alpha C')^2 = cc + \frac{ii}{ee} - \frac{2ci}{e}\,cos.\,\varepsilon.$$

Setzt man ferner in 2)

$$\text{Winkel}\ A\alpha n = \Theta'$$
$$\text{Winkel}\ B\alpha\alpha' = \Theta,$$

ſo erhält man

$$\alpha D = \alpha p + pD = c\,cos.\,\Theta' + \frac{i}{e}\,cos.\,\Theta$$

$$\alpha D' = \alpha p - pD' = c\,cos.\,\Theta' - \frac{i}{e}\,cos.\,\Theta$$

und

$$vv = \alpha D^2 = \left(c\cos.\Theta' + \frac{i}{e}\cos.\Theta\right)^2$$

$$v'v' = \alpha D'^2 = \left(c\cos.\Theta - \frac{i}{e}\cos.\Theta\right)^2$$

folglich

$$v'v' - vv = -\frac{4ci}{e}\cos.\Theta\cos.\Theta',$$

ferner

$$uu = (\alpha E)^2 = (\alpha C)^2 - (\alpha D)^2$$
$$= cc + \frac{ii}{ee} + \frac{2ci}{e}\cos.\varepsilon - \left(c\cos.\Theta' + \frac{i}{e}\cos.\Theta\right)^2$$
$$u'u' = (\alpha E')^2 = (\alpha C)^2 - (\alpha D')^2$$
$$= cc^2 + \frac{ii}{ee} - \frac{2ci}{e}\cos.\varepsilon - \left(c\cos.\Theta' - \frac{i}{e}\cos.\Theta\right)^2$$

folglich

$$-2r(g'-g) = -2(u'u' - uu) + 4g_0 r$$
$$= \frac{8ci}{e}(\cos.\varepsilon - \cos.\Theta\cos.\Theta') + 4g_0 r.$$

Endlich, wenn man in 4) die Beſchleunigung der Stromgeſchwindigkeit αF mit $\frac{1}{e}\frac{di}{dt}$ bezeichnet iſt, ſo iſt

$$g_0 = \frac{\cos.\Theta}{e}\frac{di}{dt}$$

Subſtituirt man nun dieſe Werthe von $v'v' - vv$, $-2r(g'-g)$ und g_0 in den oben gefundenen Ausdruck für die Inductionskraft, nämlich in

$$\frac{2ee'}{rr}\alpha\alpha'\frac{aa}{16}\left\{v'v' - vv - 2r(g'-g)\right\},$$

ſo erhält man

$$\frac{a\alpha'}{rr}aae'ci(\cos.\varepsilon - {}^3/_2\cos.\Theta\cos.\Theta') + {}^1/_2\frac{\alpha\alpha'}{r}aae'\cos.\Theta\frac{di}{dt}.$$

Die hierdurch beſtimmte Kraft ſucht nun die poſitive und negative Elektricität im inducirten Elemente α' nach der Richtung der Geraden r von einander zu ſcheiden. In der Wirklichkeit kann dieſe Scheidung nur nach der Richtung von α' erfolgen, weil in einem linearen Leiter ein galvaniſcher Strom nur in der Richtung des Leiters ſtattfinden kann. Zerlegt man obige Kraft nach der Richtung des Elements α' und ſenkrecht darauf, ſo kommt nur der erſte Theil als elektromotoriſche Kraft in Betracht und dieſer iſt, wenn φ den Winkel bezeichnet, welchen das Element α' mit r macht, und ferner mit e' dividirt

$$= \frac{\alpha\alpha'}{rr} a\, i(cos.\,\varepsilon - {}^3/_2\, cos.\,\Theta\, cos.\,\Theta')\, a\, c.\, cos.\,\varphi + {}^1/_2\, \frac{\alpha\alpha'}{r}\, a\, cos.\,\Theta\, cos.\,\varphi\, \frac{di}{dt}.$$

Handelt es ſich nur darum, die Induction zu ermitteln, welche ein conſtanter Strom eines bewegten Drahtes in einem benachbarten ſtromloſen hervorbringt, ſo iſt $\frac{di}{dt} = 0$ und der obige Werth reducirt ſich auf

$$\frac{\alpha\alpha'}{rr}\, a\, i(cos.\,\varepsilon - {}^3/_2\, cos.\,\Theta\, cos.\,\Theta')\, a\, c\, cos.\,\varphi \;\ldots\ldots\; a)$$

Bleibt hingegen der Draht, welcher den primären Strom leitet, in Ruhe, ſo wird $c = 0$, und wenn dann die Stromſtärke im Hauptdraht ab- oder zunimmt, ſo reducirt ſich der obige Werth auf

$${}^1/_2\, \frac{\alpha\alpha'}{r}\, a\, cos.\,\Theta\, cos.\,\varphi\, \frac{di}{dt} \;\ldots\ldots\; b).$$

Suchen wir nun dieſe Werthe *a*) und *b*) der elektromotoriſchen Kraft an einigen ſpeciellen Fällen zu erläutern und mit der Erfahrung zu vergleichen.

Sind z. B. die Elemente α und α' einander parallel und iſt die Richtung, nach welcher α bewegt wird, in der Ebene beider Elemente ſenkrecht auf dieſelben, ſo iſt, wenn α ſich von α' entfernt,

$$cos.\,\varepsilon = 0$$
$$cos.\,\varphi = -\,cos.\,\Theta$$
$$cos.\,\Theta' = sin\ \Theta,$$

der Werth *a*) reducirt ſich alſo auf

$$+\,{}^3/_2\, cos.\,\Theta^2\, sin.\,\Theta.$$

Der poſitive Werth dieſes Ausdruckes zeigt uns, daß in dieſem Falle der inducirte Strom dem inducirenden gleichgerichtet iſt.

Wird α gegen α' genähert, ſo bleibt alles Uebrige unverändert, nur wird $cos.\,\Theta' = -\,sin.\,\Theta$; der Werth *a* reducirt ſich alſo auf

$$-\,{}^3/_2\, cos.\,\Theta^2\, sin.\,\Theta;$$

in dieſem Falle hat alſo der inducirte Strom die entgegengeſetzte Richtung des inducirenden.

Der Werth von *b*) wird poſitiv, wenn $\frac{di}{dt}$ negativ iſt; im Nebendraht wird alſo ein dem Hauptſtrom gleichgerichteter inducirt, wenn dieſer Hauptſtrom an Stärke abnimmt oder verſchwindet. Bei Entſtehung des Hauptſtroms aber, oder wenn er an Stärke zunimmt, iſt $\frac{di}{dt}$ poſitiv, der Werth *b*) wird dadurch negativ; in dieſem Falle iſt alſo der inducirte Strom dem inducirenden entgegengeſetzt.

Fechner's und Neumann's Theorie der Induction. Fechner 249
ist der Erste gewesen, welcher es versucht hat, einen innern Zusammenhang zwischen den elektrodynamischen und den Inductionserscheinungen zu entwickeln, welche vorher von Lenz bloß durch eine empirische Regel in Beziehung zu einander gesetzt worden waren. Fechner hat sich dabei nur auf einen Fall der Induction beschränkt, nämlich auf den, wo ein ruhender constanter Strom auf einen gegen ihn bewegten Leitungsdraht wirkt. (P. A. LXIV. 337.) Von einer nähern Auseinandersetzung dieser, nur einen engeren Kreis von Erscheinungen umfassenden Theorie des verdienstvollen Leipziger Physikers dürfte hier wohl abstrahirt werden, da wir so eben die umfassendere Theorie Weber's in ihren Grundzügen kennen gelernt haben.

Neumann hat der Akademie in Berlin eine Abhandlung über die Theorie der Induction übergeben, aus welcher in Poggendorff's Annalen (Bd. LXVII. S. 31) ein Auszug erschienen ist. Neumann sagt:

»Aus dem Lenz'schen Satze: daß die Wirkung, welche der inducirende »Strom oder Magnet auf den inducirten Leiter ausübt, immer, wenn die »Induction durch eine Bewegung des letzteren hervorgebracht ist, einen hemmenden Einfluß auf diese Bewegung ausübt, in Verbindung mit dem »Satze: daß die Stärke der momentanen Induction proportional mit der »Geschwindigkeit dieser Bewegung ist, wird das allgemeine Gesetz der linearen »Induction abgeleitet

$$Eds = -\varepsilon v C ds.$$

»Hierin bedeutet ds ein Element des inducirten Drahtes und Eds die »in dem Elemente ds inducirte elektromotorische Kraft; v ist die Geschwin»digkeit, mit welcher ds bewegt ist, C die nach der Richtung, in welcher »ds bewegt wird, zerlegte Wirkung des Inducenten auf ds, dieses Ele»ment durchströmt gedacht von der Einheit des Stroms. Die Größe ε »kann bei der linearen Induction als eine Constante behandelt werden.

Weber hat nun in seiner bereits mehrfach citirten Abhandlung gezeigt, daß das Neumann'sche Gesetz mit seiner Theorie übereinstimmende Resultate giebt, sobald man die Anwendung des Neumann'schen Gesetzes auf geschlossene, durch Magnete ersetzbare Ströme beschränkt.

Eine nähere Erörterung dieses Gegenstandes ist hier nicht wohl möglich.

Achter Abſchnitt.

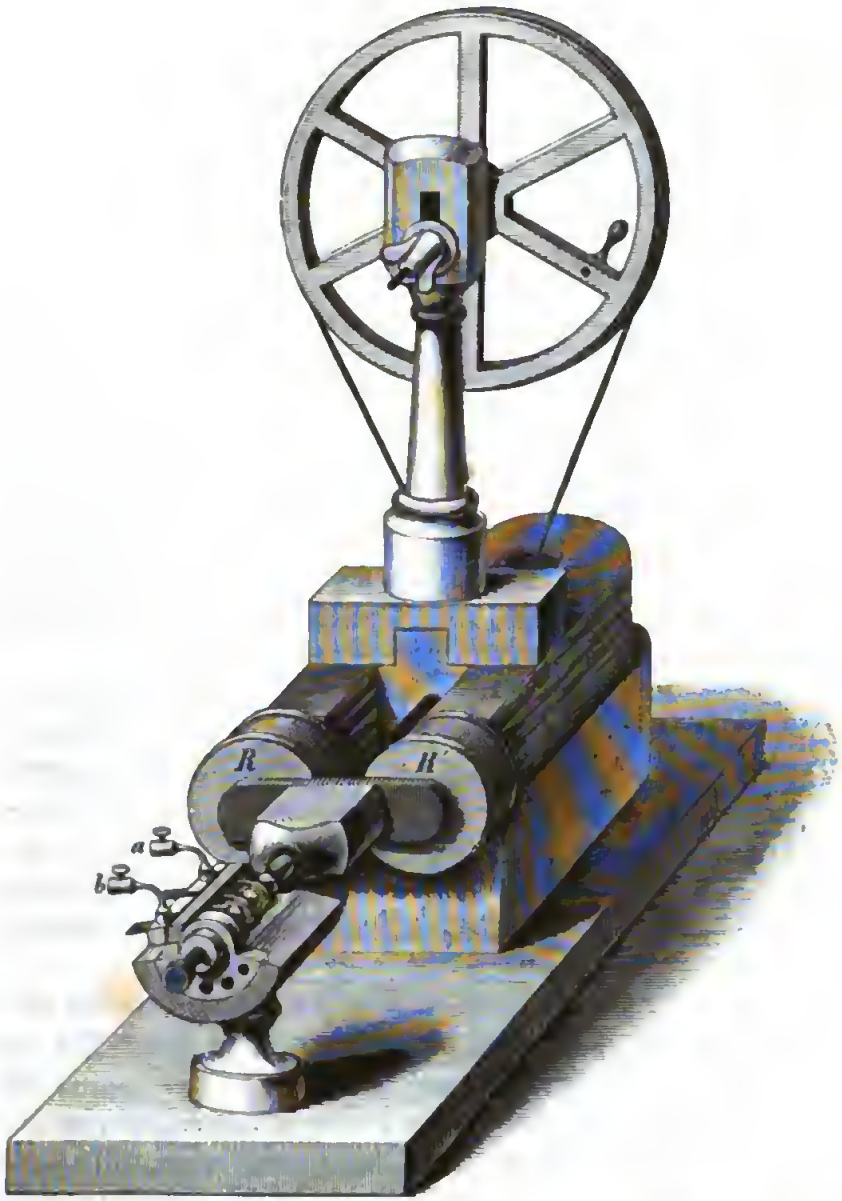
Elektriſche Induction.

249 **Magnetoelektriſche Rotationsapparate.** Die magnetoelektriſchen Rotationsapparate ſind in neuerer Zeit bedeutend verbeſſert worden. Petrina hat an dem bereits in meinem Lehrbuch der Phyſik beſchriebenen Ettinghauſiſchen Rotationsapparat einige zweckmäßige Abänderungen angebracht, unter denen vorzugsweiſe hervorzuheben iſt, daß ſeine Maſchine den Strom ſtets in gleicher Richtung durch den Schließungsbogen ſendet, wie dies auch bei den Stöhrer'ſchen Maſchinen geſchieht. Um nach Belieben einen Intenſitätsſtrom oder einen Quantitätsſtrom zu erhalten, ohne die Inductoren zu wechſeln, hat er an derſelben Rotationsaxe 4 Inductionsrollen angebracht, von denen immer je zwei diametral gegenüber ſtehende zuſammen gehören. Zwei dieſer Spiralen ſind von dickem, zwei von dünnem Draht. Jedes Spiralenpaar hat ſeinen eigenen an derſelben Spirale ſitzenden Commutator, ſo daß man nach Belieben den Strom der dicken oder den Strom der dünnen Drahtſpirale, oder auch beide gleichzeitig haben kann (Magnetoelektriſche Maſchine von F. Petrina. Linz 1844.).

Die magnetoelektriſchen Rotationsapparate, welche Stöhrer in Leipzig conſtruirt, dürfen wohl als die vollkommenſten Inſtrumente dieſer Art angeführt werden. Figur 243 ſtellt einen dieſer Apparate von mittlerer Größe dar. Was das Arrangement im Ganzen betrifft, ſo iſt hier wohl keine weitere Erläuterung nöthig; eben ſo bedarf wohl auch die Einrichtung des Commutators, welche Fig. 244 dargeſtellt iſt, keiner weiteren Auseinanderſetzung, da das Princip deſſelben bereits in meinem Lehrbuche der Phyſik (3te Aufl. 2ter Bd. S. 257) beſchrieben iſt; als neu aber muß ich die Vorrichtung beſchreiben, welche dazu dient, um die beiden Spiralen auf verſchiedene Weiſe zu combiniren, ſo daß man nach Belieben

einen ſtärkeren Strom von geringerer Spannung oder einen ſchwächeren Strom von größerer Spannung erzeugen kann. Dove nennt eine ſolche Vorrichtung Pachytrop.

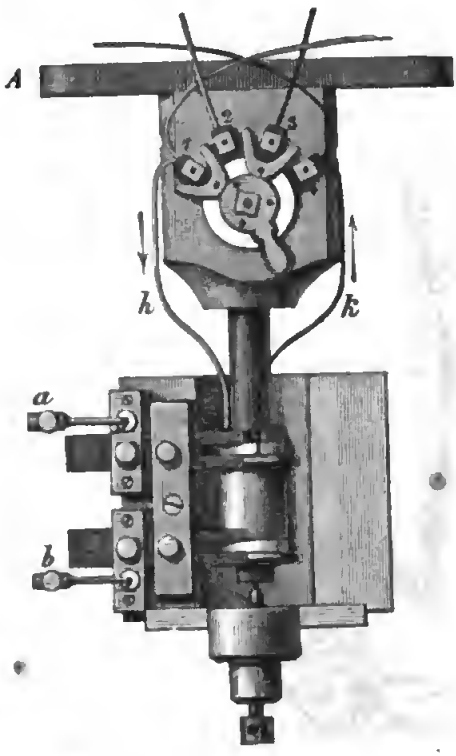
Fig. 243.



In Fig. 244 ſtellt *A A* die eiſerne Platte dar, welche die eiſernen Kerne der beiden Drahtrollen trägt und durch deren Mitte die Rotationsaxe des ganzen Apparates geht; an derſelben iſt, dem Commutator zugewendet, ein auf zwei Seiten abgeflachtes Stück Holz befeſtigt, welches auf der einen (in Fig. 243 gerade nicht ſichtbaren) Seite die fragliche Vorrichtung trägt.

Auf der Holzfläche ſind zunächſt 4 Kupferplättchen befeſtigt, welche in Fig. 244 mit 1, 2, 3 und 4 bezeichnet ſind. An 1 und 2 ſind zwei gleichnamige Drahtenden der beiden Drahtſpiralen befeſtigt, die beiden anderen Drahtenden bei 3 und 4. Nehmen wir z. B. an, das von der Spirale rechts kommende Drahtende, welches bei 1 befeſtigt iſt, ſey für einen beſtimmten Moment poſitiv, ſo iſt dasjenige Drahtende der linken Spirale, welches gleichzeitig poſitiv iſt, in 2 befeſtigt. — Das bei 4 befeſtigte Drahtende führt zur linken, das bei 3 befeſtigte Drahtende führt zur rechten Spirale; dieſe beiden ſind in dem eben beſprochenen Momente negativ.

Fig. 244.



Von 1 führt ein Kupferdraht zum erſten, von 4 ein anderer zum zweiten halb kreisförmigen Kamme des Commutators.

Die vier Kupferſtückchen 1, 2, 3 und 4 liegen auf dem Umfang eines Kreiſes, in deſſen Mittelpunkt eine um denſelben drehbare Elfenbeinſcheibe befeſtigt iſt; dieſe trägt zwei von einander iſolirte Gabeln von Kupfer, welche in unſerer Figur in ſolcher Stellung gezeichnet ſind, daß ihre Arme nicht auf die Kupferſtückchen fallen. Bei ſolcher Stellung ſind die Spiralen gar nicht geſchloſſen; bei der Umdrehung der Rotationsaxe kann man alſo auch keinerlei Stromwirkung erhalten.

Nun aber werde die Elfenbeinſcheibe ſo gedreht, daß 1 und 2 durch die eine, 3 und 4 durch die andere Gabel verbunden ſind. Der poſitive Strom der Spirale rechts kommt jetzt direct nach 1, der poſitive Strom der Spirale links kommt über 2 durch die Gabel gleichfalls nach 1, der Draht *h* führt alſo die poſitiven Ströme beider Spiralen dem erſten Kamme des Commutators zu, während er nachher durch den Draht *k* nach 4 gelangt, um ſich hier zu theilen, indem er von 4 direct zur linken und durch die zweite Gabel über 3 zur rechten Spirale gelangt. Der Strom, welcher den Schließungsbogen durchläuft, geht alſo zur Hälfte durch die eine, zur Hälfte durch die andere Spirale.

Betrachtet man jede Spirale als einen Elektromotor, ſo ſind hier gleichſam die beiden Elektromotoren neben einander combinirt; die elektromo-

toriſche Kraft iſt gleich, der Widerſtand iſt halb ſo groß als für eine Spirale allein.

Dieſe Combination iſt anzuwenden, um ſtärkere Ströme im Schließungsbogen von verhältnißmäßig geringem Widerſtande zu erhalten.

Wird die Elfendeinſcheibe ſo gedreht, daß 2 und 3 durch eine Gabel leitend verbunden werden, ſo muß der Strom beide Spiralen hinter einander durchlaufen. Der poſitive Strom, welcher durch *k* bei 4 eintritt, geht von da in die Spirale links; nachdem er dieſe durchlaufen hat, gelangt er über 2 durch die Gabel nach 3, um die Spirale rechts zu durchlaufen und dann über 1 und *h* zum Commutator zu gelangen.

Für dieſe Combination ſind alſo gewiſſermaßen die beiden elektromotoriſchen Elemente zur Säule verbunden, man hat die doppelte elektromotoriſche Kraft und den doppelten Widerſtand einer einzigen Spirale, die elektromotoriſche Kraft iſt alſo doppelt, der Widerſtand 4mal ſo groß als für die zuerſt genannte Combination.

Dieſe Combination der Spiralen iſt in ſolchen Fällen zu wählen, wo ein größerer Widerſtand in den Schließungsbogen eingeſchaltet iſt; bei dieſer Stellung der elfenbeinenen Scheibe erhält man deshalb die ſtärkſten phyſiologiſchen Wirkungen.

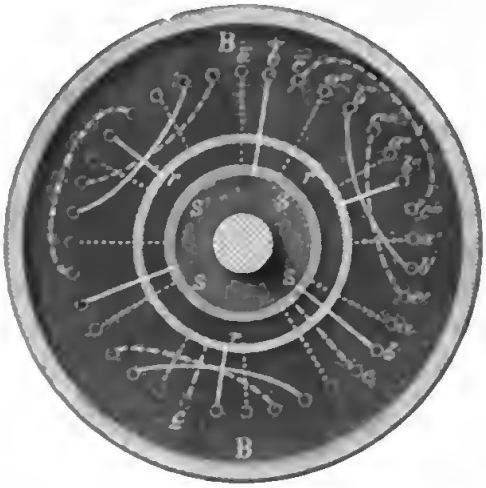
Seine größeren Apparate hat Stöhrer aus mehreren Hufeiſenmagneten zuſammengeſetzt. So beſchreibt er z. B. im 61ſten Bande von Poggendorff's Annal. S. 417 einen Apparat mit 3 Hufeiſenmagneten. Dieſe drei Magnete ſind vertical geſtellt, ſo daß die 6 Pole in einer horizontalen Ebene liegen und die Mittelpunkte der 6 Polflächen in einen Kreis fallen. Ueber dieſen 6 Magnetpolen rotiren 6 Inductionsſpiralen mit Eiſenkernen um eine verticale Umdrehungsaxe. Es würde überflüſſig ſeyn, hier eine Abbildung des ganzen Apparates zu geben, ich beſchränke mich nur darauf, den Pachytrop dieſer Maſchine näher zu beſchreiben.

Dieſe Vorrichtung iſt natürlich complicirter als die entſprechende des ſo eben betrachteten kleinen Apparates; ſie iſt in einer an der Rotationsaxe befeſtigten Büchſe von Meſſingblech enthalten, und die Drähte, welche die verſchiedenen Verbindungen vermitteln, ſind des beſſeren Schutzes wegen ganz mit Harz zugegoſſen, ſo daß man die Einrichtung nicht ſehen kann, ohne die ganze Vorrichtung aus einander zu nehmen und zu zerſtören; gerade deshalb aber dürfte hier die Beſchreibung derſelben, welche mir Hr. Stöhrer behufs der Publication aufs bereitwilligſte mittheilte, am Platze ſeyn.

An der verticalen Umdrehungsaxe iſt eine hölzerne Scheibe *A A* befeſtigt, welche man in Fig. 246 im Durchſchnitt, Fig. 247 von Oben geſehen dargeſtellt ſieht. Auf derſelben ſind in horizontaler Lage 12 Federn

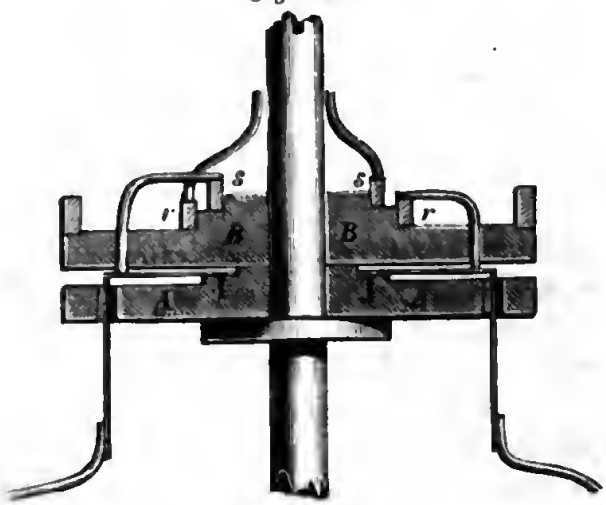
von Neuſilber aufgeſchraubt, von denen eine jede mit einem der 12 Drahtenden der 6 Inductionsſpiralen verbunden iſt, wie es die Figur andeutet; ſo bilden gewiſſermaßen die Federn 1 und 2 die Enden der Spirale *I*, 3 und 4 die der Spirale *II* u. ſ. w.

Fig. 245.



Ueber dieſer Scheibe *A* iſt nun eine zweite *B* drehbar, welche gleichfalls in Fig. 246 im Durchſchnitt, Fig. 245 aber von oben geſehen dargeſtellt iſt. Dieſe Scheibe hat in gleichen Abſtänden 36 Löcher, durch welche 36 Drähte vertical herabgehen, die dann oben theils zu dem Meſſingringe *r*, theils zum Meſſingringe *s*, theils von einem Loch zum andern führen. Die Drähte, welche in Fig. 245 punktirt angedeutet ſind, dienen, um die 6 Spiralen neben einander, die geſtrichelt punktirten, um ſie hinter einander zu combiniren; durch die Drähte, welche ausgezogen ſind, werden endlich je zwei Spiralen hinter einander combinirt.

Fig. 246.

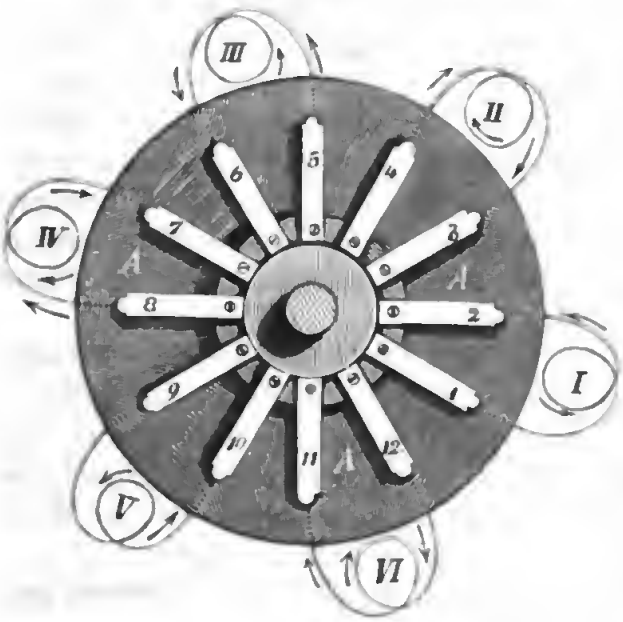


Die obere Scheibe ſey ſo gedreht, daß *a* auf 1, *a'* auf 2 u. ſ. w. fällt, ſo iſt klar, daß alle (für den Augenblick) poſitiven Drahtenden der 6 Spiralen mit dem äußeren Meſſingringe *r*, alle negativen aber mit dem inneren *s* verbunden ſind. Von *r* aber führt ein Draht zum erſten, von *s* ein anderer zum zweiten Kamme des Commutators, der poſitive Strom aller Spiralen gelangt alſo direct zum Ringe *r*, von da über den Commutator zum Ringe *s* und von dieſem aus in die Spiralen zurück. Hier ſind die 6 Spiralen neben einander combinirt, bezeichnet man die elektromotoriſche Kraft und den Widerſtand

einer Spirale mit e und r, ſo iſt für dieſe Combination die elektromotoriſche Kraft gleich e, der Widerſtand $\frac{r}{6}$.

Wird die obere Scheibe B ſo gedreht, daß b auf 1 kommt, ſo iſt das negative Drahtende von I mit s, das poſitive von II mit r verbunden, während durch das Drahtſtück $b'\,b'''$ das negative Drahtende von II mit dem poſitiven von I verbunden iſt; ein poſitiver von s kommender Strom tritt alſo durch b, welches auf 1 ſteht, in die Spirale I, nachdem er dieſelbe durchlaufen hat, wird er von 2 aus durch den Draht $b'\,b'''$ nach 4 geführt, um in die Spirale II überzugehen, er verläßt dieſelbe bei 3 und gelangt von da über b'' nach dem äußeren Ringe r. — Auf dieſelbe Weiſe ſind bei dieſer Stellung die Spiralen III und IV hinter einander combinirt; eben ſo V und VI. Es iſt alſo die elektromotoriſche Kraft des ganzen Apparates $3\,e$, der Widerſtand $\frac{2}{3}r$.

Fig. 247.



Sollen endlich die 6 Spiralen hinter einander combinirt werden, ſo daß bei der elektromotoriſchen Kraft $6\,e$ der Widerſtand $6\,r$ iſt, ſo wird c auf 1 geſtellt. Jetzt geht der Strom, nachdem er die Spirale 1 durchlaufen hat, von c' über c''' nach 4, von da durch die Spirale II zur Feder 3, dann über $c''\,\overline{c}$ in die Spirale III und ſo fort durch alle Spiralen, um endlich aus der Spirale VI zur Feder 11 und von dieſer durch den Draht $\underline{c}$ zum Ring r zu gelangen, während das entgegengeſetzte Drahtende der erſten Spirale durch den Draht c mit dem inneren Ring s verbunden iſt.

Die ganze eben beſchriebene und durch die Figuren in ½ der natürlichen Größe dargeſtellte Vorrichtung iſt in einer Büchſe von Meſſingblech enthalten.

Vergleichung der magnetoelektriſchen Rotationsmaſchinen mit anderen Elektromotoren. 250 Weber hat es zuerſt verſucht, genaue

Meſſungen mit magnetoelektriſchen Rotationsmaſchinen anzuſtellen und ihre Wirkungen auf abſolutes Maaß zu reduciren (P. A. LXI. 431). Die Weber'ſche Methode läßt ſich aber auch bei anderen Einheiten und mit anderen Inſtrumenten in Anwendung bringen, durch welche die Verſuche leichter anzuſtellen und die Reſultate leichter zu überſehen ſind; kurz man kann die Conſtanten, von welchen die Stärke des Stromes einer magnetoelektriſchen Rotationsmaſchine abhängt, in derſelben Weiſe beſtimmen, wie die Conſtanten eines Volta'ſchen Elementes, vorausgeſetzt, daß der Strom im Schließungsbogen ſtets gleiche Richtung hat. Weber leitete den Strom der Rotationsmaſchine durch eine Drahtrolle und beobachtete, welche Ablenkung dieſelbe an einem Magnetometer hervorbrachte. Wenn es nicht auf die äußerſte Genauigkeit ankommt, ſo kann man auch ſtatt dieſer Drahtrolle und ſtatt des Magnetometers eine gewöhnliche Tangentenbuſſole in Anwendung bringen.

In den Schließungsbogen der auf Seite 677 abgebildeten Rotationsmaſchine wurde die Tangentenbuſſole gebracht, welche bei allen früher auf S. 255 beſprochenen Verſuchen gedient hatte. Als die Spiralen neben einander combinirt waren und die Kurbel zweimal in der Secunde umgedreht wurde, war die Ablenkung der Tangentenbuſſole 11°; die Stromſtärke war alſo $70 \,.\, tang.\ 11^\circ = 70 \,.\, 0{,}194 = 13{,}58$.

Nun wurde bei ſonſt unveränderten Umſtänden ein Eiſendraht eingeſchaltet, deſſen reducirte Länge gleich 61 iſt. Bei gleicher Umdrehungsgeſchwindigkeit war jetzt die Ablenkung 5,5°, alſo die Stromſtärke $70 \,.\, 0{,}096 = 6{,}72$; wir haben alſo die Gleichungen

$$13{,}58 = \frac{E}{R},$$

$$6{,}72 = \frac{E}{R + 61},$$

woraus ſich ergiebt

$$R = 60,$$
$$E = 814.$$

Combinirt man die beiden Spiralen hinter einander, ſo hat man, wie bereits oben erwähnt wurde, die doppelte elektromotoriſche Kraft und den 4fachen Widerſtand. Für den Fall alſo, daß der Widerſtand im Schließungsbogen gegen den der Spiralen vernachläſſigt werden kann, wäre alſo die Stromſtärke

$$\frac{2 \,.\, 814}{4 \,.\, 60} = 6{,}78 = 70 \,.\, 0{,}0968 = 70 \,.\, tang.\ 5^\circ\ 32'.$$

Als der Verſuch angeſtellt, d. h. als eine der Tangentenbuſſolen ohne ſonſtigen merklichen Widerſtand in den Schließungsbogen des Inſtrumen-

tes eingeschaltet wurde, ergab sich bei der schon angeführten Umdrehungsgeschwindigkeit eine Ablenkung von 5,7°, was mit der berechneten sehr nah übereinstimmt.

Nach diesen Versuchen wäre also der Widerstand einer solchen Inductionsspirale ungefähr gleich 120, während bei der angegebenen Umdrehungsgeschwindigkeit die elektromotorische Kraft einer Spirale 814, also nahe eben so groß ist, wie die eines Bunsen'schen Bechers.

Bei jeder Umdrehung der Kurbel macht die Rotationsaxe des Inductors 7 Umdrehungen, in obigem Falle also 14 Umdrehungen in der Secunde, was 28 Polaritätswechsel in den Eisenkernen der Spiralen ausmacht.

Nach diesen Auseinandersetzungen lassen sich jetzt auch annähernd der Widerstand und die elektromotorische Kraft für die verschiedenen Combinationen der großen Stöhrer'schen Maschine berechnen, vorausgesetzt, daß die Spiralen den unsrigen gleich, und daß bei gleicher inducirender Kraft der Magnetpole gleichfalls 28 Polaritätswechsel in der Secunde vorkommen; für die erste der drei Combinationen hat man

$$R = \frac{120}{6} = 20$$
$$E = 814,$$

für die zweite

$$R = \frac{2 \cdot 120}{3} = 80$$
$$E = 3 \cdot 814 = 2442,$$

für die letzte endlich

$$R = 6 \cdot 120 = 720$$
$$E = 6 \cdot 814 = 4884,$$

wonach man für gegebene Schließungsbogen ziemlich annähernd die Wirkungen jenes größeren Apparates berechnen kann.

Die elektromotorische Kraft der magnetoelektrischen Rotationsapparate hängt von der Umdrehungsgeschwindigkeit ab, wie dies Weber durch seine bereits citirten Messungen nachgewiesen hat. Auch mit unserer kleineren Maschine habe ich dergleichen Messungen gemacht. Als die Kurbel nur einmal in der Secunde umgedreht wurde, erhielt man 8,5° Ablenkung; während also die Zahl der Polaritätswechsel in der Secunde von 28 auf 14 herabkam, nahm die Stromstärke nur im Verhältniß von 0,194 zu 0,149 oder von 1 : 0,76 ab.

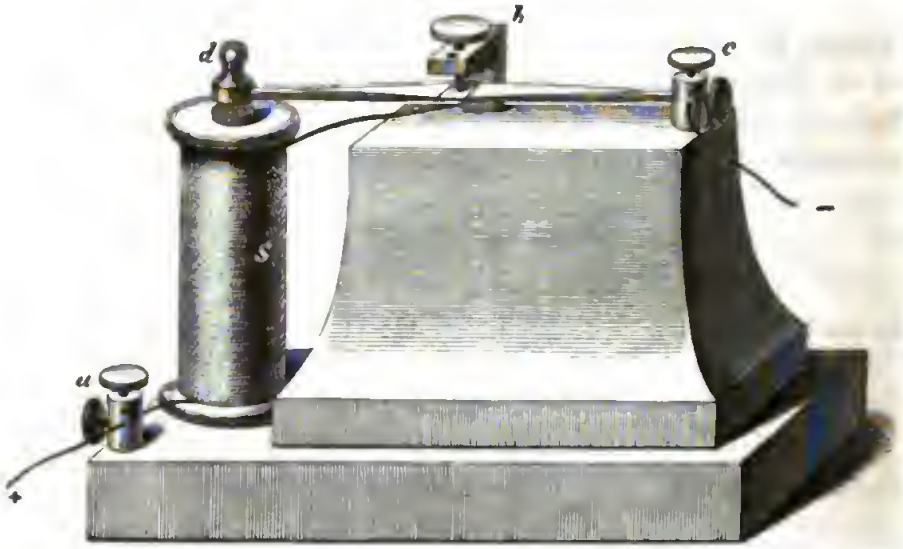
Im Allgemeinen nimmt also die elektromotorische Kraft mit der Rotationsgeschwindigkeit zu, aber nicht in gleichem Verhältniß. Ob die elektromotorische Kraft für eine bestimmte Geschwindigkeit ein Maximum erreicht, um über dieselbe hinaus wieder abzunehmen, oder ob sich die elek-

tromotorische Kraft asymptotisch einem größten Werthe nähert, ist noch nicht ermittelt.

251 **Elektromagnetische Apparate.** Der Neef'sche Apparat, welcher bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Band, S. 248) beschrieben worden ist, wurde von Desaga in Heidelberg vereinfacht und verbessert; aus der Desaga'schen Form des Apparates entwickelte sich die in Fig. 248 abgebildete.

S ist eine Spirale von dünnem übersponnenem Kupferdraht, welcher auf eine Hülse von Holz gewickelt ist. Die beiden Drahtenden dieser Spirale

Fig. 248.



führen zu den Messingständern *a* und *b*. Im Innern der Holzhülse befindet sich ein Bündel von Eisendrähten.

In dem Messingsäulchen *c* ist ein federnder Kupferstreifen befestigt, dessen anderes Ende in einem kleinen Zwischenraum über dem Drahtbündel in der Spirale ein eisernes Knöpfchen *d* trägt. Die Kupferfeder drückt ungefähr in der Mitte ihrer Länge schwach gegen eine von Oben herabkommende Platinspitze an, welche sich am unteren Ende einer in dem Ständer *b* angebrachten Schraube befindet. Da, wo die Kupferfeder mit der Spitze in Berührung kommt, ist gewöhnlich ein kleines Platinplättchen aufgesetzt.

Der eine Pol eines Volta'schen Elementes wird nun bei *a*, der andere bei *c* eingeschraubt. Der bei *a* eintretende Strom durchläuft die Spirale *S*, gelangt aus derselben zum Ständer *b*, von welchem er durch die erwähnte Platinspitze auf die Kupferfeder übergeht, um von dieser nach *c* und dem anderen Pole des Elektromotors geführt zu werden.

Dieſer Strom macht das Eiſendrahtbündel, welches ſich in der Spirale *S* befindet, magnetiſch, der eiſerne Knopf bei *d* wird niedergezogen und dadurch die Berührung zwiſchen der Platinſpitze und der Kupferfeder aufgehoben, alſo der Strom unterbrochen; in Folge davon verliert das Eiſendrahtbündel ſeinen Magnetismus, die Feder geht in die Höhe, der Strom wird wieder hergeſtellt, um ſogleich wieder unterbrochen zu werden. So dauert dieſes Spiel der Schließung und Oeffnung der Kette in raſcher Aufeinanderfolge fort; an der Platinſpitze beobachtet man dabei die Lichterſcheinung, welche bereits auf Seite 423 beſchrieben wurde.

Bei jeder Unterbrechung des Hauptſtromes bildet ſich nun in der Spirale *S* der Extraſtrom, ſobald eine entſprechende Nebenſchließung vorhanden iſt. Befindet ſich der menſchliche Körper in dieſer Nebenſchließung, ſo erhält er die bekannten Schläge; die Einſchaltung des Körpers kann nun hier auf verſchiedene Weiſe ausgeführt werden.

1) Die eine Handhabe iſt bei *b*, die andere bei *c* eingeſetzt; hier bildet der menſchliche Körper eine Nebenſchließung ſtatt der directen Leitung zwiſchen *b* und *c* mittelſt der Kupferfeder. Nach der Unterbrechung des Hauptſtromes bilden jetzt der Elektromotor, die Spirale *S* und der menſchliche Körper eine zuſammenhängende Leitung, der Schlag des Extraſtromes kann alſo durch den Körper gehen.

2) Die eine Handhabe iſt in *a*, die andere in *b* befeſtigt; bei dieſer Combination iſt nach der Unterbrechung des Hauptſtromes der Elektromotor ausgeſchaltet und die Spirale *S* nur noch durch den menſchlichen Körper geſchloſſen, welcher alſo auch in dieſem Falle den Schlag des Extraſtromes erhält.

3) Die eine Handhabe iſt bei *a*, die andere bei *c* eingeſchraubt: jetzt wird nach Unterbrechung des primären Stromes das Volta'ſche Element, welches denſelben lieferte, nur noch durch den menſchlichen Körper geſchloſſen ſeyn, die Spirale *S* iſt ausgeſchaltet, ſie kann alſo ihren Extraſtrom nicht durch den menſchlichen Körper ſenden, man wird alſo in dieſem Falle keinen Schlag empfinden.

Die Figur 248 iſt nach einem vom Mechanicus Hild in Cöln trefflich ausgeführten Apparate, von dem er mir eine Zeichnung mitzutheilen die Güte hatte, gemacht. Ganz ähnlich ſind auch die Apparate eingerichtet, welche Dr. Reinſch in der mechaniſchen Werkſtätte der Gewerbeſchule zu Zweibrücken anfertigen läßt.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß ſich daſſelbe Princip der Stromunterbrechung auch bei eigentlichen Inductionsapparaten in Anwendung bringen läßt. Denken wir uns die Spirale *S*, welche in dieſem Falle aus dickerem Drahte beſtehen kann, mit einer zweiten dünndrahtigen Inductionsſpirale umgeben, deren freie Drahtenden mit metallenen Handgriffen

verſehen ſind, ſo wird der Körper, welcher die Handhaben faßt, den Schlag des Inductionsſtroms erhalten, welcher bei dem an der Platinſpitze ſtattfindenden Oeffnen und Schließen des Hauptſtroms in der äußeren Spirale inducirt wird.

253 **Wirkung von Eiſendrahtbündeln auf die Stärke des Extraſtromes.** Wenn in einer Drahtſpirale, welche in den Schließungsbogen eines Volta'ſchen Elementes eingeſchaltet iſt, ein Bündel von Eiſendrähten liegt, ſo iſt der Oeffnungsſchlag weit ſtärker, als wenn ein maſſiver Eiſencylinder eingeſchoben iſt. Dieſe Beobachtung wurde zuerſt von Bachhoffner und Sturgeon gemacht (Annales of Electricity Vol. I. p. 481). Eine nähere Unterſuchung dieſer merkwürdigen Erſcheinung wurde von Magnus unternommen und in Poggendorff's Annalen Band XLVIII. S. 95 publicirt.

Früher glaubte man, die Wirkung der Drahtbündel beruhe darauf, daß das zum Draht verwendete Eiſen ein viel weicheres ſey als das zu Stäben verarbeitete. Magnus zeigte aber, daß ſelbſt Bündel von gehärtetem Stahl noch ſtärkere Zuckungen geben als ein maſſiver Cylinder des weichſten Eiſens; die ſtärkere Wirkung der Drähte beruht alſo auf der Trennung der Maſſe. Sind die einzelnen Drahtſtäbchen durch Firniß oder durch Ueberſpinnen vor metalliſcher Berührung geſchützt, ſo wird dadurch die Wirkung noch etwas erhöht.

Um zu unterſuchen, ob vielleicht die Drahtbündel durch den Strom der Spirale ſtärker magnetiſirt würden als ein maſſiver Eiſenſtab, beobachtete Magnus die Ablenkung einer in der Nähe aufgeſtellten Buſſole; es ergab ſich, daß die Drahtbündel keineswegs ſtärker magnetiſirt waren, daß alſo die ſtärkeren Zuckungen, welche ſie hervorbringen, nur durch Induction beim Oeffnen der Kette entſtehen.

Ein Bündel von Eiſenſtäbchen wurde durch leichtflüſſiges Metall zu einem Cylinder zuſammengeſchmolzen; dieſer gab aber jetzt keine ſo ſtarke Wirkung als ein maſſiver Eiſenſtab; das Drahtbündel hatte alſo die verſtärkende Kraft durch die metalliſche Verbindung der einzelnen Stäbchen verloren. Daſſelbe Reſultat ergab ſich, als das Drahtbündel in einem hohlen Cylinder leicht flüſſigen Metalls von $\frac{1}{4}$ Zoll Wanddicke und in eine dünnwandig gezogene Meſſingröhre geſteckt wurde; wurde aber die eine oder die andere dieſer Umhüllungen der Länge nach aufgeſchlitzt, ſo trat die Wirkung der Drähte ganz auf dieſelbe Weiſe wieder hervor, wie wenn gar keine Umhüllung vorhanden wäre.

Faraday erklärt die vermehrte Wirkung beim Oeffnen eines durch eine Spirale laufenden Stromes im Weſentlichen auf folgende Weiſe: Der elektriſche Strom, welcher eine Spirale durchläuft, erzeugt, wenn die

Kette unterbrochen wird, in einer benachbarten parallel laufenden Drahtwindung einen Inductionsstrom von gleicher Richtung; fehlt aber dieser Nebendraht, so erzeugt der Strom bei seinem Verschwinden diesen gleich gerichteten Strom in dem Schließungsdrahte selbst, indem eine Windung auf die andere inducirend wirkt.

Wenn sich nun aber innerhalb der Spirale ein Eisenstab befindet, so verschwindet beim Oeffnen der Kette gleichzeitig auch der durch den Strom im Eisen hervorgerufene Magnetismus; das Verschwinden des Magnetismus wirkt aber wie das Verschwinden von elektrischen Strömen; der verschwindende Magnetismus inducirt in dem Leitungsdrahte gleichfalls einen Strom, welcher dem verschwindenden Strome des Drahtes gleich gerichtet ist, daher die Verstärkung durch das Eisen.

Diese Erklärung bedarf nun, wie Magnus nachweist, noch einer Ergänzung. Der verschwindende Strom im Draht inducirt nämlich auch gleich gerichtete Ströme im Eisen, wodurch dem Verschwinden des Magnetismus entgegengewirkt und die verstärkende Wirkung desselben geschwächt wird. Alles, was die Bildung dieser Ströme in der Eisenmasse hindert, wird also natürlich auch die Wirkung des verschwindenden Magnetismus erhöhen müssen; da nun in einem Drahtbündel die durch das Verschwinden des Hauptstromes inducirten Ströme nicht so ungehindert sich bilden können wie im massiven Eisen, so ist klar, daß der Effect des verschwindenden Magnetismus des Drahtbündels auch nicht durch diese Ströme vermindert wird, wie dies beim massiven Eisen der Fall ist.

Wenn das Eisendrahtbündel mit einer Hülle umgeben ist, die aus einem nicht magnetischen Metall besteht, so wird der verschwindende Magnetismus der Eisenstäbchen zunächst seine inducirende Wirkung auf seine metallische Hülle äußern und nicht auch auf die Spirale, weshalb in diesem Falle das Drahtbündel kaum so viel wirkt wie ein massiver Eisenstab.

Eiserne Röhren verstärken gleichfalls den Oeffnungsschlag mehr als massive Cylinder, und zwar um so mehr, je mehr bei gleichem äußeren Durchmesser die Masse abnimmt, daher eine Röhre von Eisenblech starke Zuckungen giebt. Werden die Röhren der Länge nach aufgeschlitzt, so wird der Schlag ebenfalls verstärkt; diese durch das Aufschlitzen bewirkte Verstärkung ist namentlich merklich bei dickeren Wänden, wie z. B. bei einem Flintenlauf, weniger bedeutend bei dünnen Blechröhren.

Ein spiralförmig gewundenes Eisenblech, dessen Querschnitt keinen in sich geschlossenen Leiter bildet, wirkt auch wie ein Drahtbündel.

Alle diese Erscheinungen lassen sich auf das oben angedeutete Erklärungsprincip zurückführen.

254 **Inducirte Ströme, welche bei galvanometriſcher Gleichheit ungleich phyſiologiſch wirken.** Der galvanometriſche Effect eines Stromes iſt der chemiſchen Wirkung ſtets proportional. Anders verhält es ſich, wie Dove durch gründliche Unterſuchungen nachgewieſen hat, mit den phyſiologiſchen Wirkungen. Für Maſchinen-Elektricität hatte man längſt einen ſolchen Unterſchied gefunden, denn der den Körper heftig erſchütternde Schlag der Leidner Flaſche vermag nicht die Magnetnadel abzulenken; er erlangt dieſe Eigenſchaft erſt dadurch, daß man die Entladung verzögert, etwa durch Einſchaltung einer naſſen Schnur, wodurch aber die phyſiologiſche Wirkung verſchwindet.

Aehnliche Verhältniſſe ſtellen ſich nun auch bei Strömen anderer Elektricitätsquellen heraus. Die gewöhnlichen galvaniſchen Ströme, mächtig auf die Magnetnadel wirkend, ſind nicht im Stande merkliche phyſiologiſche Wirkungen hervorzubringen, während die Inductionsſtröme bei unbedeutendem galvanometriſchen Effect heftige Zuckungen veranlaſſen.

Vorſſelmann de Heer berichtet von einer Inductionsſpirale, welche heftige Schläge gab, ohne einen merklichen galvanometriſchen Effect zu geben. Auf einem hölzernen Cylinder waren 90 Fuß eines $^1/_{20}$ Zoll dicken Kupferdrahtes ſpiralförmig aufgewickelt, über dieſe Spirale aber eine zweite, beſtehend aus einem 1500 Fuß langen Kupferdraht von $^1/_{90}$ Zoll Durchmeſſer. Die erſte Spirale bildet den Schließungsdraht der Kette, die letztere den Inductionsdraht. Schloß man dieſe Inductionsſpirale durch den Körper, ſo erhielt man einen wahrhaft unerträglichen Schlag, ſo oft der die innere kürzere Spirale durchlaufende Strom unterbrochen wurde. Schaltete man aber zwiſchen den Drahtenden der Inductionsſpirale ſtatt des menſchlichen Körpers ein Galvanometer ein, ſo wich die Nadel deſſelben nicht von der Stelle, wenn der Hauptſtrom unterbrochen wurde. (P. A. XLVI. 530.)

Aus einer Verſtärkung der phyſiologiſchen Effecte läßt ſich alſo durchaus nicht auf eine vermehrte galvanometriſche Wirkung ſchließen, und ſo hat denn auch Dove nachgewieſen, daß die kräftigeren Schläge, welche durch Anwendung von Drahtbündeln ſtatt maſſiver Eiſenkerne hervorgebracht werden, keineswegs von einer Verſtärkung des Stromes herrühren. (P. A. XLIX. 72.)

Zu dieſen Verſuchen wandte er eine Vorrichtung an, welche er mit dem Namen eines Differential-Inductors bezeichnete. Auf zwei Holzröhren von $18^1/_2$ Linien innerer Weite wurden Kupferdrähte von $2^1/_2$ Linien Dicke aufgewunden, und zwar ſo, daß auf jeden Cylinder 29 Windungen kamen; dieſe beiden Drahtwindungen bildeten, mit einander verbunden, den Schließungsdraht einer galvaniſchen Kette In dieſe mit dem Hauptdraht umgebenen Holzröhren wurden nun zunächſt die Inductions-

ſpiralen gelegt, von denen jede aus 400 Fuß eines ½ Linie dicken überſponnenen Drahtes beſtand. Dieſe Rollen waren kreuzweiſe verbunden, ſo daß die Richtung des inducirten Stromes der einen Drahtrolle der Richtung des in den andern erregten entgegengeſetzt war. — Die freien Enden dieſer Inductionsrollen wurden darauf vermittelſt Handhaben durch den Körper oder durch ein Galvanometer geſchloſſen.

War in die Höhlung der beiden Inductionsſpiralen kein Eiſen eingelegt, ſo hob ſich natürlich ihre Wirkung gegenſeitig auf. Bei Schließung und Oeffnung der Kette erhielt weder der Körper einen Schlag, noch zeigte das Galvanometer eine Ablenkung. Dieſes Gleichgewicht wurde aber alsbald geſtört, wenn ein Eiſenſtab in eine der Spiralen eingeſchoben wurde.

Die zu dieſen Verſuchen dienenden Cylinder verſchiedener Eiſenſorten waren 11 Zoll 7 Linien lang, und hatten 11 ½ Linien im Durchmeſſer.

War durch Einſchieben eines Eiſenſtabes in die eine Spirale das Gleichgewicht geſtört worden, ſo konnte es durch allmäliges Hinzufügen von Eiſendrähten in die andere Spirale wieder hergeſtellt werden. Die Zahl der Eiſenſtäbchen, welche dieſe Compenſation bewirkte, war aber für das Gefühl und das Galvanometer nicht dieſelbe. Im Folgenden iſt angegeben, wie viel Eiſenſtäbchen in die eine Spirale eingeſchoben werden mußten, um die Wirkung des in der andern befindlichen Eiſenſtabes zu compenſiren, und zwar je nachdem dieſer Stab aus verſchiedenem Material verfertigt war.

	Für das Galvanometer.	Für das Gefühl.
Schmiedeeiſen . . .	110 + x	15
Weicher Stahl . . .	92	24
Harter Stahl . . .	28	7
Graues Roheiſen . .	27	11

Bei dem Schmiedeeiſen reicht die in die Höhlung der Spirale hineingehende Anzahl der Drähte nicht hin, um das galvanometriſche Gleichgewicht herzuſtellen.

Ohne Ausnahme iſt alſo die zur Compenſation einer maſſiven Eiſenmaſſe erforderliche Drahtmenge für das Galvanometer größer als für das Gefühl, oder mit anderen Worten: bei gleichem galvanometriſchen Effect iſt die von dem Drahtbündel herrührende Erſchütterung bedeutender als die der maſſiven Eiſenmaſſe.

»In Beziehung auf das galvanometriſche Gleichgewicht,« ſagt Dove, »muß noch eine eigenthümliche Erſcheinung erwähnt werden, welche da»für ſpricht, daß die Steigerung der Ströme bis zu dem Maximum ihrer »Intenſität bei gleicher mittlerer Stärke nicht in derſelben Zeit geſchieht. »Angenommen, die Anzahl der Drähte überwiege den maſſiven Cylinder,

»ſo daß der Ausſchlag der Nadel im Sinne des durch die Drähte erzeug»ten Stromes geſchieht, und man vermindert dieſen Ueberſchuß durch »Herausnehmen von Drähten allmälig, ſo ſieht man nicht die Ablenkung »durch immer kleiner werdende Ausſchläge in die entgegengeſetzte durch »Null übergehen, ſondern man ſieht die Nadel, wie von einem ſchnellen »kurzen Stoße getrieben, nach der Seite des früheren Ausſchlags ſich be»wegen, dann plötzlich anhalten und im Sinne des andern Stromes weit »langſamer zurückgehen. Dieſe zuckende Bewegung findet auch dann »noch ſtatt, wenn der zweite Strom bereits überwiegt, ſo daß dem kurzen »Stoße auf der einen Seite dann eine weitere Schwingung nach der ent»gegengeſetzten folgt.«

Dieſe Zuckung rührt nun offenbar daher, daß der Strom, welcher durch die Eiſendrähte inducirt wird, raſcher verlaufend ſeine Wirkung zuerſt auf die Nadel ausübt. Demnach aber wird das »galvanometriſche Gleichgewicht« bei dieſen Verſuchen mit dem Differentialinductor gar nicht durch die ungeſtörte Ruhe der Nadel erkannt. Die Beſtimmung des galvanometriſchen Gleichgewichts hat alſo nach dieſer Methode immerhin etwas Mißliches.

Auch ohne Differentialinductor laſſen ſich die eben beſprochenen Reſultate im Weſentlichen nachweiſen. Mit einer Inductionsſpirale von $1\frac{1}{2}$ Millimeter dickem Draht (die Länge deſſelben iſt mir unbekannt) erhielt ich beim Oeffnen und Schließen des Hauptſtroms an einen Multiplicator folgende Ablenkungen durch den Inductionsſtrom:

Ohne Einſchiebung	6,5°
Mit einem Bündel dünner Eiſendrähte (1^{mm} dick, gefirnißt)	45°
Mit einem Bündel dicker Eiſendrähte (1 Linie Dick, gefirnißt)	48°
Mit einem maſſiven Eiſenkern	63°

Der Hauptſtrom war durch ein kleines Daniell'ſches Element erzeugt worden. Bei raſch auf einander folgenden Schließungen und Oeffnungen des Hauptſtromes waren ohne Einſchiebung die Schläge, ſelbſt bei befeuchteten Händen, nicht über das Handgelenk fühlbar; nach Einſchiebung des maſſiven Eiſenſtabes ging der Schlag in der eben angedeuteten Stärke durch 2 Perſonen, nach Einſchiebung des Bündels dickerer Drähte durch 4, während das Bündel dünner Drähte die Schläge in gleicher Stärke in einer Kette von 5 Perſonen fühlbar machte.

Zehn der dünneren und fünf der dickeren Eiſenſtäbchen geben, in die Spirale eingeſchoben, eben ſo ſtarke Schläge wie der maſſive Eiſenſtab, bei phyſiologiſcher Gleichheit waren aber die galvanometriſchen Wirkungen ſehr ungleich, denn es war die Ablenkung des Galvanometers

für die 10 dünneren Stäbchen 28°

für die 5 dickeren Stäbchen 36°
für den massiven Eisenstab 63°

Mit einer andern Inductionsspirale, welche aus 1800 Fuß eines nur 1''' dicken Drahtes gebildet war, zeigten sich die galvanometrischen Effecte bei weitem schwächer (ohne Einschiebung von Eisen höchstens 2°, bei eingeschobenem massivem Eisenstab 20°), während die physiologischen Effecte viel kräftiger waren.

Aus den obigen Versuchen Dove's geht auch hervor, daß das graue Roheisen sich in seinen inducirenden Wirkungen dem Drahtbündel am meisten anschließt; man hätte demnach dasselbe als eine Substanz anzusehen, in welcher das magnetisirbare Eisen kein zusammenhängendes Continuum bildet.

Im Magnetisiren von Stahlnadeln zeigte sich der durch die Drahtbündel, im Magnetisiren von weichem Eisen der durch den Eisenstab inducirte Strom überwiegend.

Da nun das Elektromagnetisiren des weichen Eisens einen andauernden Strom erfordert, das Magnetisiren des Stahls aber auch bei den plötzlichsten Entladungen erfolgt; da man ferner aus Versuchen mit Reibungselektricität weiß, daß durch Abgleichen eines gleich großen elektrischen Gegensatzes sehr verschiedene Wirkungen entstehen, je nach der Dauer dieses Abgleichens, indem eine rasche Entladung Schläge, eine langsame hingegen die Ablenkung des Galvanometers hervorzubringen vermag, so kann dies Resultat als ziemlich entscheidend für die Annahme gelten, daß in einem durch ein Drahtbündel inducirten Strom eine bestimmte Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit sich durch den Draht bewegt, als wenn dieselbe durch einen massiven eisernen Cylinder in Bewegung gesetzt wird.

Eiserne Röhren, wie ein Flintenlauf, eine Blechröhre u. s. w., zeigten in Beziehung auf die Inductionsströme (Nebenströme) ein ähnliches Verhalten, wie es bereits Sturgeon und Magnus für den Gegenstrom (Extrastrom) ermittelt hatten.

Der durch den Schließungsdraht einer Thermosäule inducirte Strom verhält sich genau so, wie der durch den Schließungsdraht einer galvanischen Kette hervorgebrachte; das gleiche Resultat erhielt Dove auch für den Strom einer magnetoelektrischen Rotationsmaschine.

Ströme, inducirt durch Eisen, welches durch Entladung einer elektrischen Batterie elektromagnetisirt wurde. Die Untersuchungen, welche Dove über den Inductionsstrom der Leidner Flasche anstellte, können erst hier abgehandelt werden, weil sie mit dem eben besprochenen in naher Beziehung stehen. — Für Reibungselektricität construirte 255

Dove einen beſondern Differentialinductor, nach dem oben angegebenen Princip, bei welchem aber ganz beſondere Sorgfalt auf gehörige Iſolation der Drähte verwendet worden war. — Bei kreuzweiſer Verbindung der Nebenſpiralen findet natürlich Stromgleichheit ſtatt, welches Prüfungsmittel man auch anwenden mag, ſo lange die Spiralen leer bleiben; dieſes Gleichgewicht wird aber ſogleich aufgehoben, ſobald ein Metall in eine der Spiralen eingeſchoben wird; der dann hervortretende Strom wirkt aber nicht auf die Galvanometernadel; er giebt, auf Jodkalium geprüft, keine chemiſche Zerſetzung, und magnetiſirt weiches Eiſen nicht in der Weiſe, daß eine danebenſtehende Magnetnadel abgelenkt würde, oder darauf geſtreute Eiſenfeile ſich aufrichtete.

Die phyſiologiſche Wirkung eines durch den Schließungsdraht der Batterie im Nebendraht inducirten Stroms wird durch Einſchieben von Stäben aller nicht magnetiſchen Metalle geſchwächt, und zwar um ſo mehr, je beſſer leitend das Metall iſt. Bei vorher compenſirten Spiralen erhält man daher deſto ſtärkere Erſchütterungen, je beſſer leitend das in eine derſelben hineingelegte Metall iſt. Der nach der Methode von Rieß durch die Harzfiguren geprüfte Strom geht dabei von den leeren Spiralen aus, die hervortretende Erſchütterung iſt alſo eine Folge des ſchwächenden Einfluſſes des eingeführten Metalls.

Aufgeſchlitzte Metallröhren wirken nicht in dieſer Weiſe ſchwächend.

Cylinder von Schmiedeeiſen, Stahl, Gußeiſen ſo wie auch Röhren von Eiſenblech, welche nicht aufgeſchlitzt ſind, ſchwächen ebenfalls die phyſiologiſche Wirkung des Stromes.

Die phyſiologiſche Wirkung wird hingegen verſtärkt durch aufgeſchlitzte eiſerne Röhren und beſonders durch gut iſolirte Drahtbündel von Eiſen. Ein in den Handgelenken fühlbarer Schlag der gleichartig verbundenen Nebenſpiralen ging bei Einführung zweier ſolcher Drahtbündel bis in die Hälfte des Oberarms, während er durch Einführung zweier Cylinder von Schmiedeeiſen ſo geſchwächt wurde, daß er nur in den Vorderhänden bemerkbar war.

Hier zeigte ſich alſo ein weſentlicher Unterſchied in der inducirenden Wirkung des Eiſens, je nachdem daſſelbe durch den Strom einer galvaniſchen Kette oder den Entladungsſtrom einer Leidner Flaſche magnetiſirt wird. Die inducirende Wirkung des ſpiralförmigen Schließungsdrahtes einer galvaniſchen Kette auf einen Nebendraht wird nämlich ſtärker, wenn Eiſen in beliebiger Form in denſelben hineingelegt wird, während der Schließungsdraht einer Leidner Flaſche ſchwächer inducirend auf den Nebendraht wirkt, wenn eine maſſive Eiſenſtange in ihn hineingelegt wird, als wenn er leer iſt, hingegen ſtärker, wenn dies Eiſen in Form eines Drahtbündels angewendet wird.

In Beziehung auf das Magnetisiren von Stahlnadeln durch den Inductionsstrom sind die Erscheinungen ganz dieselben, der primäre Strom mag durch galvanische Elektricität oder durch Reibungselektricität hervorgebracht seyn, und es findet hier nicht der Unterschied statt, welcher in Beziehung auf die physiologischen Effecte sich zeigt.

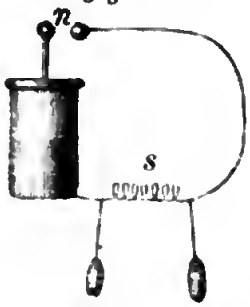
Die thermischen Effecte des durch Reibungselektricität inducirten Stromes werden sowohl durch massive Eisenstäbe als auch durch eiserne Drahtbündel geschwächt.

Die verschiedenen Effecte, welche das Eisen innerhalb einer Inductionsspirale hervorbringt, faßt Dove in folgender Weise unter einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkt zusammen.

»Der in einem, das Eisen spiralförmig umgebenden Drahte wirksame »primäre elektrische Strom erzeugt im Momente, wo er entsteht, in dem »Eisen elektrische Ströme, während seiner Dauer magnetische Polarität, »welche sich langsamer steigert als jener Strom, im Moment seines Auf»hörens wiederum einen elektrischen Strom. Der beim Aufhören des pri»mären Stromes erzeugte zweite elektrische, mit dem primären gleichge»richtete Strom wirkt dem durch den Magnetismus erzeugten entge»gen. — Hatte, wie es beim galvanischen Magnetisiren der Fall ist, der »Magnetismus während der längeren Dauer des Stromes Zeit sich zu »entwickeln, so überwiegt die Wirkung desselben die entgegengesetzte des »bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugten elektrischen Stromes. »Alle gegen die Bildung elektrischer Ströme angewandten Mittel steigern »daher nur eine vom massiven Eisen bereits auch ausgeübte Wirkung. »Ist hingegen der primäre Strom so schnell vorübergehend, wie der einer »sich entladenden elektrischen Batterie, hatte also der Magnetismus nicht »Zeit sich vollständig zu entwickeln, so überwiegt der bei dem Aufhören »des primären Stromes erzeugte elektrische die Wirkung des verschwin»denden Magnetismus. Das Zerstören dieser elektrischen Ströme durch »Auflösen der Masse in Drähte, kehrt daher hier die Wirkung völlig um, »indem es den Ausschlag erst auf Seiten des verschwindenden Magnetis»mus bringt, der vor dieser Trennung auf Seiten der elektrischen Ströme »war. — Die Gleichgewichtsgränze beider ist aber für die ther»mischen, physiologischen und magnetischen Wirkungen nicht »dieselbe, weil nämlich die Abhängigkeit jeder einzelnen derselben von der »Intensität des verschwindenden Magnetismus eine andere seyn wird, als »ihre Veränderung durch den entgegenwirkenden elektrischen Strom; für »die magnetisirenden Wirkungen waltet daher noch die Wirkung des ver»schwindenden Magnetismus vor, wenn für die thermischen hingegen »der elektrische Strom überwiegt und die physiologischen Erscheinun»gen auf beide Seiten dieser Gränze fallen.«

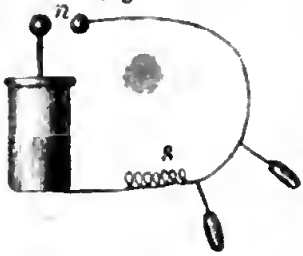
256 **Extraſtrom für Reibungselektricität.** Auch dieſen hat Dove experimentell nachgewieſen, und zwar auf folgende Weiſe. In dem Schließungsbogen der Leidner Flaſche iſt der ſpiralförmig gewundene Draht *s* Fig. 249 eingeſchaltet. Iſt nun eine Nebenſchließung, die mittelſt der Handhaben durch den Körper in der Weiſe angebracht wird, wie es Fig. 249 zeigt, ſo erhält man in dem Moment, in welchem ein Funke bei *n* überſpringt, eine Erſchütterung, welche ausbleibt, wenn die Nebenſchließung wie in Fig. 250 angebracht iſt. Im erſtern Falle iſt der ſpiralförmige Theil des Schließungsdrahtes durch den Körper geſchloſſen, im letztern nicht.

Fig. 249.



Wird bei der Anordnung Fig. 249 ein Bündel Eiſendraht in die Spirale gelegt, ſo wird der Schlag dadurch verſtärkt.

Fig. 250.



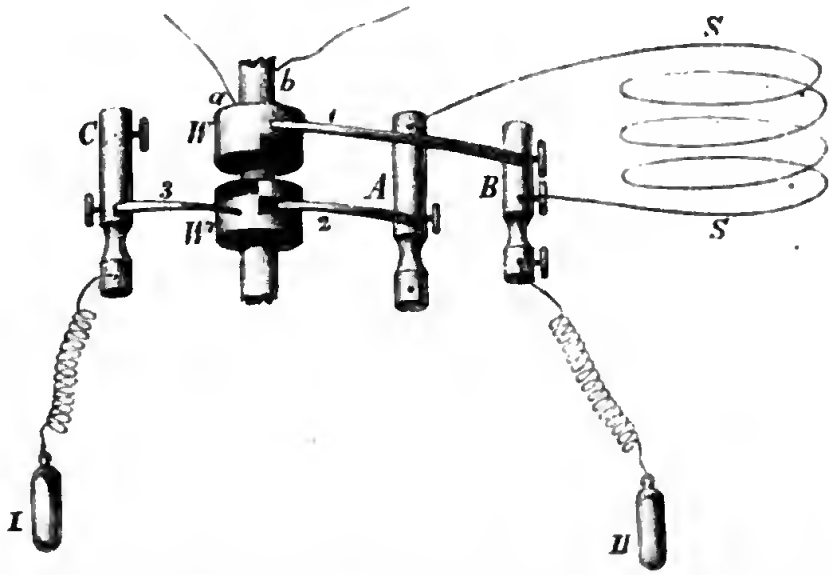
257 **Gegenſtrom zu Anfang und zu Ende eines primären.** Nach Faraday's Anſicht, ſoll ſich, der Induction an einem Nebendraht analog, bei Schließung eines Volta'ſchen Elementes durch einen langen ſpiralförmig gewundenen Draht ein Gegenſtrom (Extraſtrom) bilden, welcher dem primären entgegen wirkt, alſo ſeine Wirkung ſchwächt, während beim Oeffnen der Kette ein dem primären gleichgerichteter Extraſtrom ſich bildet, weshalb denn auch der Oeffnungsſchlag und der Oeffnungsfunke kräftig ſind, während beim Schließen der Kette keine poſitive Wirkung zu verſpüren iſt.

Die Exiſtenz des bei der Schließung der Kette ſich bildenden Gegenſtroms iſt erſt von Dove auf experimentellem Wege genügend nachgewieſen worden. (P. A. LVI, 251.)

Er wandte zu dieſem Zweck als primären Strom den einer magnetoelektriſchen Rotationsmaſchine an, von welcher die zum Verſtändniß nothwendigen Theile Fig. 251 abgebildet ſind. Auf der Rotationsaxe ſind zwei eiſerne Walzen angebracht, *W* von der eiſernen Axe iſolirt, *W'* unmittelbar auf derſelben ſitzend. Bei *a* iſt das eine, bei *b* das andere Drahtende der Inductionsrollen befeſtigt, ſo daß alſo *W* gleichſam den einen, *W'* den andern Pol der rotirenden Drahtrollen bildet. Auf der ganz metalliſchen Oberfläche von *W* ſchleift die Metallfeder 1, auf *W'* ſchleifen die Federn 2 und 3. Nun aber befindet ſich auf *W'* ein Holzeinſatz, welcher ſo geſtellt iſt, daß die Feder 2 auf denſelben kommt, wenn die Verbindungslinie der beiden rotirenden Rollen rechtwinklig ſteht auf

der Verbindungslinie der beiden Pole; die Feder 3 ist mit W' beständig in metallischer Verbindung.

Fig. 251.



Zwischen den Ständern A und B ist entweder ein kurzer dicker Draht oder eine Spirale S eingeschaltet, welche aus einem langen dünnen übersponnenen Drahte gebildet ist, und in deren Höhlung man Bündel von Eisendrähten hineinlegen kann.

In die Ständer B und C sind die Handhaben I und II eingeschraubt.

Während der Rotation des Ankers von 0 bis 90°, d. h. von der horizontalen Stellung vor den Polen des Magneten bis zur lothrechten, senkrecht auf die Verbindungslinie derselben sind die rotirenden Spiralen vollkommen metallisch geschlossen; der Strom geht von W durch die Feder 1 auf den Ständer A, von da durch den kurzen Draht oder die Spirale S über B durch 2 nach W'. Sobald aber die Feder 2 auf den Holzeinsatz kommt, ist diese Circulation unterbrochen, der Oeffnungsschlag der rotirenden Spiralen geht nun durch die von dem menschlichen Körper zwischen I und II gebildete Nebenschließung, während die Spirale S ganz ausgeschaltet ist, der Oeffnungsstrom der Spirale S ist also ausgeschlossen, während der Schließungsstrom derselben seine Wirkung äußern kann.

Faßt man I und II in die Hände, so fühlt man die Schläge am heftigsten, wenn A und B nur durch einen kurzen dicken Draht verbunden sind, wenn also die Spirale S gar nicht da ist. — Wird der kurze Verbindungsdraht durch die Spirale S ersetzt, so sind die Schläge schwächer, noch schwächer, wenn in die Spirale S ein Bündel von Eisendraht eingeschoben wird.

Daraus ergiebt sich nun, wenn ich Dove's Auseinandersetzung richtig

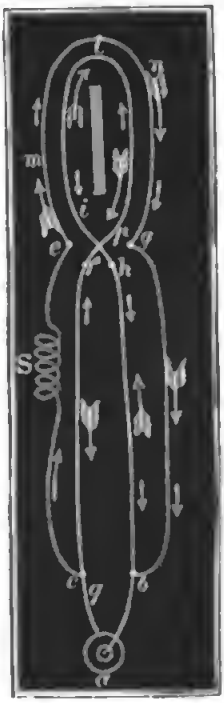
aufgefaßt habe, die Exiſtenz des Gegenſtroms zu Anfang des primären auf folgende Weiſe:

Durch die Rotation vor den Magnetpolen bildet ſich, wenn ſich zwiſchen *A* und *B* nur ein kurzer Draht befindet, in den rotirenden Spiralen ein Strom *p*, durch deſſen Verſchwinden der Schlag bewirkt wird. Iſt aber zwiſchen *A* und *B* die Spirale *S* eingeſchaltet, ſo erzeugt der Strom *p* bei ſeinem Entſtehen in *S* einen entgegengerichteten Strom *e*, welcher den Strom *p* ſchwächt; da aber *p* geſchwächt, da es $p - e$ geworden iſt, ſo kann nun auch der dieſem Strom $p - e$ folgende Oeffnungsſchlag nicht ſo ſtark ſeyn wie vorher. Das Einlegen eines Bündels von Eiſendraht ſchwächt die Schläge natürlich noch mehr, weil durch daſſelbe der Werth von *e* vergrößert wird.

Bei dieſer Einrichtung kann alſo der zu Anfang des primären Stromes in *S* gebildete Nebenſtrom ſeine Wirkung äußern, während der ſonſt maskirende Einfluß des Oeffnungsſchlages von *S* hier ganz eliminirt iſt.

258 **Edlund's Verſuche über den Extraſtrom.** Am unzweideutigſten hat Edlund den Extraſtrom auch zu Anfang des primären nachgewieſen. (P. A. LXXVII, 161.) Der Apparat, den er zu dieſem Zwecke anwandte, hat folgende in Fig. 252 ſchematiſch dargeſtellte Einrichtung. *a* iſt eine galvaniſche Säule, von deren Polen zwei Leitungsdrähte nach *b* und *c* führen; von hier führen wieder vier Drähte *bg*, *bh*, *cf* und *ce* zu den Drahtenden zweier Drahtlagen von überſponnenem Kupferdraht, welche ein Magnetometer umgeben und von denen jede für ſich eine geſchloſſene Leitung von mehreren parallel neben einander liegenden Drahtwindungen bildet *emng* ſtellt die äußere, *fplih* die innere Drahtlage dar. Die Verbindung iſt, wie man leicht überſieht, von der Art, daß der Strom, welchen die Batterie *a* liefert, ſich bei *c* und *b* theilt und die beiden Drahtlagen in entgegengeſetzter Richtung durchläuft, ſo daß bei gehöriger Abgleichung keine Ablenkung des Magnetometers durch den primären Strom der Kette *a* entſtehen kann. In unſerer Figur iſt der Verlauf des durch den Elektromotor *a* direct erzeugten Stromes durch die ungeflügelten Pfeile ⟶ dargeſtellt.

Fig. 252.



Bei *q* war eine einfache Vorrichtung getroffen, wodurch die Kette bequem und gleichförmig geöffnet und geſchloſſen werden konnte. Um dem

Hauptstrom eine entgegengesetzte Richtung geben zu können, war in die Leitung *cab* ein Commutator eingeschaltet. Das Magnetometer war mit einem Spiegelapparat versehen und wurde mit einem Fernrohr beobachtet, wie es bei magnetischen Beobachtungen gebräuchlich ist.

Wenn nun bei *S* eine Drahtrolle eingeschaltet wird, so muß, wenn das Gleichgewicht am Magnetometer nicht gestört werden soll, in die Zuleitung zur inneren Drahtlage, etwa zwischen *c* und *f*, ein entsprechender Widerstand eingeschaltet werden; um aber zu verhindern, daß in dieser zwischen *c* und *f* angebrachten Einschaltung ein Inductionsstrom entstände, welcher dem in *S* erzeugten, welcher untersucht werden soll, entgegenwirken könnte, so wurde dieser Einschaltungsdraht über zwei Glasstangen gewunden, welche 3 Meter weit von einander abstanden, so daß also der Draht zwischen den Glasstangen geradlinig ausgespannt war.

Wurde nun, nachdem die Widerstände so abgeglichen waren, daß die innere und äußere Drahtlage am Magnetometer sich das Gleichgewicht hielten, der Strom bei *q* unterbrochen, so bildete sich in der Spirale *S* ein Extrastrom, welcher in der Richtung circulirt, wie es die gefiederten Pfeile ⟿ andeuten, welcher also, die innere und die äußere Drahtlage in gleicher Richtung durchlaufend, den Magnetometerstab ablenken muß.

Wird die Kette wieder geschlossen, so muß das nämliche Verhältniß stattfinden, d. h. es wird auch jetzt der bei der Schließung in *S* inducirte Extrastrom die beiden Drahtlagen in gleicher (den gefiederten Pfeilen entgegengesetzter) Richtung durchlaufen, es findet gegen den vorigen Fall nur der Unterschied statt, daß ein Theil des Inductionsstroms durch die Leitung *cab* strömt.

Aus dem Ohm'schen Gesetze läßt sich aber ableiten, daß die Einwirkung des bei *S* inducirten Stroms auf den Magnetometerstab die nämliche bleibt, wenn auch ein Theil desselben durch die Leitung *cab* geht. — Denken wir uns, der Widerstand dieser Leitung sey gleich Null, so geht der ganze Inductionsstrom nur durch die äußere Drahtlage, gar nicht durch die innere; der durch die äußere Drahtlage gehende Strom wird aber eine bestimmte Ablenkung *A* bewirken; wäre dagegen der Widerstand von *cab* unendlich groß, so wird der Strom jetzt nur die beiden Drahtlagen mit ihren Zuleitungsdrähten zu durchlaufen haben; bei gleicher elektromotorischer Kraft in der Inductionsspirale ist jetzt der zu überwindende Leitungswiderstand doppelt so groß als im vorigen Fall, die Stromstärke also halb so groß, die halb so große Stromstärke durchläuft aber jetzt in gleicher Richtung beide Drahtlagen, die Einwirkung auf die Magnetnadel ist also in beiden Fällen gleich; daß dasselbe aber auch für jeden endlichen Werth des Leitungswiderstandes von *cab* der Fall ist, ergiebt sich nach dem Ohm'schen Gesetz folgendermaßen. Der Schließungsstrom der

Spirale gelangt von S nach c und theilt ſich hier in zwei Aeſte, $cfplhb$ und cab. Es ſey R der Widerſtand des erſteren, W der des letzteren, ſo iſt der Geſammtwiderſtand, welchen der Strom auf dem Wege von c bis b zu überwinden hat, $\frac{RW}{R+W}$; der Strom hat aber, von b über n und m nach S zurückkehrend, nochmals den Widerſtand R zu überwinden, die Stärke des Stromes, welche durch die äußere Drahtlage $gnme$ geht, iſt alſo

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}}$$

wenn E die elektromotoriſche Kraft bezeichnet, mit welcher die Spirale S den Strom inducirt. Auf den Magnetometerſtab wirkt aber nicht allein die äußere Drahtlage, ſondern auch die innere; dieſe iſt aber von einem Strome durchfloſſen, deſſen Stärke

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}}\cdot\frac{W}{R+W}$$

iſt, mithin können wir die Geſammtwirkung auf den Stab proportional ſetzen

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}}\left(1+\frac{W}{R+W}\right)=\frac{E}{R\left(1+\frac{W}{R+W}\right)}\left(1+\frac{W}{R+W}\right)$$

$$=\frac{E}{R}.$$

Die Wirkung auf den Magnetſtab iſt alſo von W, der Größe des Leitungswiderſtandes cab, unabhängig, und zwar gerade ſo groß, als ob zwiſchen cab gar keine leitende Verbindung vorhanden wäre, wie dies bei dem Oeffnungsſtrom wirklich der Fall iſt.

Bei Anſtellung der Verſuche ergab ſich nun, daß der Ausſchlag des Magnetometers beim Schließen der Kette gleich und entgegengeſetzt war demjenigen, welcher beim Oeffnen entſteht, und daraus ergiebt ſich, daß die beim Oeffnen und Schließen einer galvaniſchen Kette mittelſt einer Drahtſpirale durch die Einwirkung des Stromes auf ſich ſelbſt entſtehenden Inductionsſtröme gleich groß ſind, wenn die inducirende Stromſtärke in beiden Fällen dieſelbe iſt.

Edlund wiederholte dieſe Verſuche mit 1, 2 und 3 Grove'ſchen Bechern, die er zur Erzeugung des primären Stromes anwandte, und fand, daß die beim Oeffnen und Schließen einer galvaniſchen Kette durch Einwirkung des Stromes auf ſich ſelbſt entſtehenden

Inductionsströme der inducirenden Stromstärke proportional sind.

Classification der elektrischen Ströme. Dove hat seine Unter- 259
suchungen über Inductionselektricität, welche theilweise in Poggendorff's Annalen erschienen sind, in einer Abhandlung zusammengestellt, welche in der Akademie der Wissenschaften zu Berlin gelesen wurde, und von welcher ein besonderer Abdruck unter dem Titel: »Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität« bei Reimer in Berlin im Jahre 1842 erschien. Am Schlusse dieser Abhandlung ordnet nun Dove die verschiedenen elektrischen Ströme nach der Zeitdauer, in welcher eine gegebene Elektricitätsmenge ausgeglichen wird. Beschränken wir uns nun auf die wichtigeren, so ist die Ordnung folgende:

1) Strom der sich entladenden Leidner Flasche nebst ihrem Gegen- und Nebenstrome; der durch ein Bündel von Eisendrähten inducirte Strom, wenn dasselbe durch eine elektrische Flaschenbatterie elektromagnetisirt worden war. — Bei starker physiologischer Wirkung afficiren sie ohne Verzögerung des Stromes die Galvanometernadel nicht.

2) Ströme, inducirt durch massives vermittelst Reibungselektricität magnetisirtes Eisen.

3) Ströme, durch Drahtbündel inducirt, wenn der magnetisirende Strom ein galvanischer, magnetoelektrischer oder thermoelektrischer ist.

4) Ströme, durch massives Eisen inducirt, wenn die primären Ströme, welche es elektromagnetisiren, von den eben genannten Quellen sind.

5) Strom einer magnetoelektrischen Rotationsmaschine.

6) Strom der geschlossenen Hydro- oder Thermokette.

»In der Geschichte der Wissenschaft,« sagt Dove am Schlusse, »ist »das Anfangs- und Endglied dieser Reihe zuerst bekannt geworden. Sie »standen so weit auseinander, daß man an ihrer Identität zweifelte. Jetzt, »wo durch die Inductionserscheinungen eine Menge Mittelglieder gegeben »sind, ist die Abstufung so allmälig geworden, daß irgendwo eine Gränze »zu ziehen eine vollkommene Willkür seyn würde.«

So ist denn durch die eben besprochenen Untersuchungen unsere Kenntniß von den inducirten Strömen bis zu einem Punkte geführt worden, wo genaue Maaßbestimmungen das nächste Erforderniß zu weiteren Fortschritten auf diesem Felde sind: zunächst handelt es sich um genaue Bestimmung der Stromstärke und Zeitdauer inducirter Ströme, wozu die auf Seite 659 besprochene Weber'sche Methode ein treffliches Mittel bietet, und ihrer Abhängigkeit von der Anzahl der Windungen, Spiralen, ihrem Leitungswiderstand u. s. w.

260 **Elektrische Spannungserscheinungen und Funken an ungeschlossenen Inductionsspiralen.** Wenn man bedenkt, wie nach dem Vorhergehenden die Inductionsströme gewissermaßen ein Mittelglied bilden zwischen den galvanischen Strömen und den Entladungsströmen der Leidner Flasche, so läßt sich wohl erwarten, daß sich an den Enden einer geöffneten Inductionsspirale auch Spannungserscheinungen in weit höherem Grade zeigen müssen, als dies an den Polen einer nicht geschlossenen galvanischen Säule der Fall ist, bei welcher die Funken erst dann auftreten, wenn die Anzahl der Paare, aus welchen die Batterie zusammengesetzt ist, so enorm vermehrt wird, wie es bei Gaffiot's Wasserbatterie (S. 422) der Fall ist. Sinsteden hat nun elektrische Spannungserscheinungen und selbst elektrische Funken an ungeschlossenen Inductionsspiralen wirklich hervorgebracht. (P. A. LXIX, 353.)

Um die Spannungserscheinungen an einer elektromagnetischen Inductionsrolle nachzuweisen, wandte Sinsteden folgende Vorrichtung an. Die Magnetisirungsspirale, welche den Strom der galvanischen Kette leitete, war auf ein 5 Zoll langes und $\frac{5}{4}$ Zoll weites Holzrohr gewickelt; sie bestand aus dickem Draht. Die rasch auf einander folgenden Unterbrechungen des Stromes wurden durch ein sogenanntes Blitzrad hervorgebracht, welches in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet war.

Diese Spirale wurde mit Wachstaffet umgeben und darauf eine Inductionsspirale von 3280 Fuß $\frac{1}{4}$ Linie dicken Kupferdraht gewickelt. Die beiden Drahtenden standen ungefähr $1\frac{1}{2}$ Fuß frei vor und konnten mittelst eines isolirenden Glasstabes an das Elektrometer gebracht werden. In der Höhlung der den Hauptstrom leitenden Spirale befand sich in einer Glasröhre ein 6 Zoll langes, aus isolirten Eisendrähten bestehendes Bündel von 1 Zoll Durchmesser.

Wenn durch Drehung des Blitzrades der Hauptstrom abwechselnd geöffnet und geschlossen wurde, so gab jedes der ungeschlossenen Enden der Inductionsspirale nicht nur am Elektrometer starke Elektricität kund, sondern jedes dieser Enden gab für sich auch Funken, wenn ihm ein Leiter genähert wurde, und verursachte, in Berührung mit der Haut, ein empfindliches Brennen. Alle diese Erscheinungen wurden bedeutend verstärkt, wenn das gerade nicht untersuchte Ende der Inductionsspirale zur Erde abgeleitet war.

Die Funken der Inductionselektricität lassen sich am leichtesten zeigen, wenn man die freien Enden der Inductionsspirale bei gehöriger Isolirung einander ganz nahe bringt; wird der Stromunterbrecher des Hauptstroms rasch gedreht, so sieht man an dem kleinen Zwischenraum, welcher die Enden der Inductionsspiralen noch trennt, beständig Fünkchen überschlagen.

Aber nicht allein die Drahtenden der Inductionsspirale, sondern auch das Eisendrahtbündel zeigte Spannungselektricität. Befestigte man einen isolirten Eisendraht an das vom Glascylinder umgebene Eisendrahtbündel, und führte ihn an das Elektrometer, so divergirten die Goldblätter sehr stark. Näherte man dem Eisendrahtbündel einen spitzigen Leiter, so schlugen unaufhörlich glänzende Fünkchen über. Berührte man eine spitzige Kante des Eisendrahtbündels mit einer empfindlichen Hautstelle, so fühlte man hier ein schmerzhaftes Brennen.

Alle diese Erscheinungen fanden mutatis mutandis auch dann statt, wenn die besondere Schließungsspirale ganz beseitigt war und der Strom der galvanischen Kette durch die 3280 Fuß lange Spirale selbst geleitet und unterbrochen wurde. Im Moment der Unterbrechung des Stromes zeigte jedes Ende der Spirale, so wie das Eisendrahtbündel, jedes für sich Funken, elektrometrische und physiologische Erscheinungen. Auch zeigten sich diese Erscheinungen an den Enden der Spirale, wenn statt des Eisendrahtbündels ein massiver Eisenkern oder auch gar kein Eisenkern in der Spirale steckte; nur waren sie schwächer

Faßte man mit der einen Hand das Drahtende der Inductionsspirale, welches die äußersten Windungen macht, und welches mit *A* bezeichnet werden mag, berührte man mit der anderen Hand das eine oder andere Ende der Schließungsspirale, so empfand man ganz merkliche Erschütterungen, die sich bis in das Handgelenk erstreckten. Diese Erschütterungen sind, wie auch Sinsteden bemerkt, bereits von Masson und Breguet beobachtet worden (Archives de l'électricité 1842. p. 381). Faßte man das andere der Schließungsspirale zunächst liegende Ende der Inductionsspirale, welches *B* heißen mag, mit einer Hand und mit der anderen ein Ende der Schließungsspirale, so fühlte man nicht nur kein Zucken, sondern auch das Brennen, welches das Ende *B* für sich allein verursachte, hörte auf.

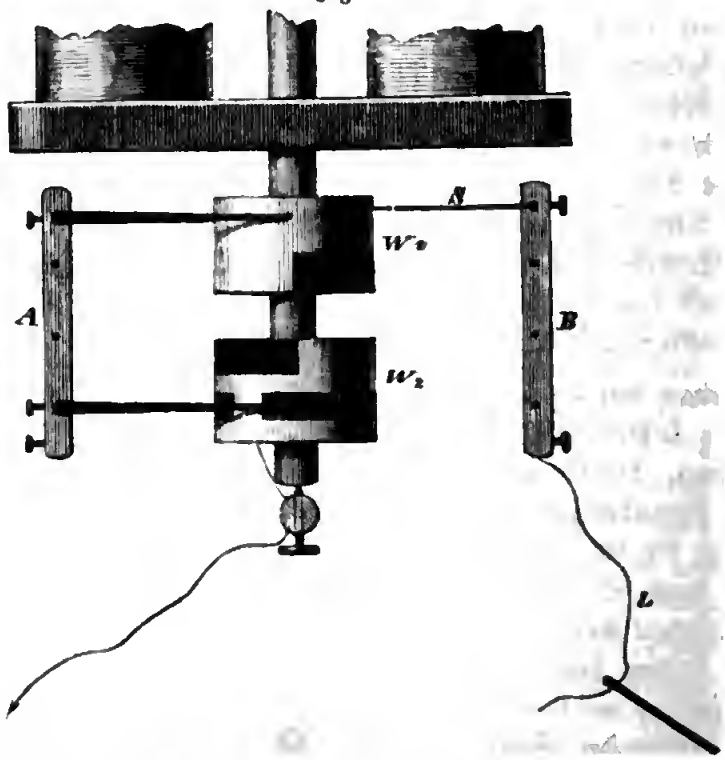
Auch an der magnetoelektrischen Rotationsmaschine hat Sinsteden ähnliche Funken und elektroskopische Effecte hervorgebracht. Der von ihm angewandte Apparat war ein Oertling'scher, an welchem für diesen Zweck besser für Isolation gesorgt war, als dies gewöhnlich bei solchen Apparaten der Fall ist. Die ganze Maschine stand auf 4 Scheiben von Gummi-Elasticum, welche ½ Zoll dick waren. Die Ständer, welche die auf den Polwalzen schleifenden Federn tragen, erhielten 3 Zoll hohe, mit Schellack überzogene Glasfüße. Auf die Magnetpole war ein Stück Wachstaffet geklebt, die den Magnetpolen zugekehrten Enden der Eisendrahtbündel (welche bei dieser Maschine die Stelle der gewöhnlich in den rotirenden Spiralen befindlichen massiven Eisenkerne ersetzten), welche

1½ Linien weit von den Magnetpolen entfernt rotirten, waren mit einer dicken Lage von Schellack überzogen.

Endlich wurde die Holzſcheibe, durch welche die Maſchine in Bewegung geſetzt wird, mit einem gläſernen gefirnißten Handgriffe verſehen.

Von den Verſuchen Sinſteden's mit dem ſo vorgerichteten Apparate wollen wir folgende als die wichtigſten hervorheben: In den iſolirten Ständer *A* (Fig. 253) wurden zwei einfache Federn eingeſpannt; die

Fig. 253.



eine ſchleifte auf der Walze W^1 beſtändig auf Metall, die zweite traf bei jeder Umdrehung des Inductors 4mal auf einen Horneinſatz der anderen Walze W^2. Jeder Horneinſatz nahm den ſechsten Theil des Umfangs der Walze ein, ſo daß alſo die Spirale bei einer Umdrehung 4mal auf ſehr kurze Zeit geſchloſſen und 4mal auf etwas längere Zeit geöffnet wurde.

An dem iſolirten Ständer *B* wurde ein dünner Stahldraht *S* mit ſcharfer Spitze ſo eingeſchraubt, daß die Spitze der Walze W^1 beinahe berührte. Die Walze W^2 wurde mit dem Boden leitend verbunden.

Bei der Rotation des Inductors fand nun folgendes Statt. Berührten die beiden Federn des Ständers *A* das Metall auf beiden Walzen, ſo entſtand in der Spirale ein Strom und es konnte keine freie Elektricität an den Stahldraht *S* übergehen, zumal jetzt beide Walzen und der Ständer *A*

mit der Erde in leitender Verbindung ſtanden. Traf die intermittirende Feder auf Horn, ſo hörte der Strom auf, und die Kraft, welche in dieſem Moment der Unterbrechung den Extraſtrom zu bilden ſtrebt, treibt nun mit großer Energie die entgegengeſetzten Elektricitäten auf beide Walzen; die Elektricität der Walze W^2 iſt zum Boden abgeleitet, die Walze W' aber mit dem Ständer A iſt iſolirt und die freie Elektricität geht von W' auf S und den Ständer B über. — Wurde jetzt ein an dem Ständer B befeſtigter Leitungsdraht L an den Knopf eines Goldblattelektrometers gebracht, ſo zeigte ſich freie Elektricität auch ohne Anwendung eines Condenſators; die Goldblätter blieben, ſo lange die Maſchine bewegt und der Leitungsdraht an den Elektrometerknopf gehalten wurde, in fortwährendem Hüpfen. — Wurde das Elektroſkop nur einen Augenblick mit dem Leitungsdraht L berührt, ſo blieben die Goldblätter 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll weit aus einander ſtehen und zeigten, mit einer geriebenen Siegellackſtange geprüft, wie von ſelbſt einleuchtet, bald poſitive, bald negative Elektricität.

Zwiſchen der Stahlſpitze S und der nahe gegenüber ſtehenden Walze W' ſchlugen unaufhörlich kleine Fünkchen über. Näherte man dem am Ständer B befeſtigten Leitungsdraht L den Rücken der Hand oder ſonſt eine empfindliche Hautſtelle, ſo ſchlugen Fünkchen über, die ein ſchmerzhaftes Stechen verurſachte, ähnlich demjenigen, welches man empfindet, wenn man den Knopf einer geladenen Leidner-Flaſche berührt.

Auch der Stahlmagnet zeigte jetzt ſtarke Spannungselektricität, indem er kräftig auf das Elektrometer wirkte und eine brennende Empfindung auf einer zarten Hautſtelle verurſachte. Ein ſpitziger Leiter, welcher mit keinem Theile der Maſchine in irgend einer Verbindung ſtand, entlockte dem Stahlmagneten Fünkchen, wenn er demſelben genähert wurde.

Brachte man den Leitungsdraht L an den Magnet, ſo erſchienen noch lebhaftere Fünkchen, woraus geſchloſſen werden kann, daß der Stahlmagnet ſtets die entgegengeſetzte Elektricität von W' und B habe.

Auch mit der oben beſchriebenen Stöhrer'ſchen Maſchine kann man einige Spannungserſcheinungen nachweiſen. Befeſtigt man in den Schraubklemmen a und b zwei kurze Drähte, die man mit zugeſpitzten Enden faſt in Berührung bringt, ſo ſieht man, wenn der Pachytrop auf Intenſität geſtellt iſt, beim Drehen der Maſchine Fünkchen durch den kleinen Zwiſchenraum überſchlagen. Wird eine der Drahtklemmen, a oder b, zum Boden abgeleitet, von der anderen ein Leitungsdraht zu der unteren Condenſatorplatte eines Goldblattelektroſkops geführt, ſo wird der Condenſator geladen, wenn man während der Umdrehung der Maſchine die obere Condenſatorplatte ableitend berührt. Entfernt man noch während der Drehung den Zuleitungsdraht, ſo divergiren die Pendel, wenn die obere

Condenſatorplatte abgehoben wird. Der Ständer *a* zeigte ſtets poſitive, *b* ſtets negative Elektricität.

Daß man hier keine kräftigeren Spannungserſcheinungen, namentlich keine Wirkung am Elektrometer ohne Condenſator erhält, liegt an der mangelhaften Iſolation, da die Maſchine für dieſe Unterſuchungen nicht hinlänglich iſolirt iſt. Wären *a* und *b* vollſtändiger iſolirt, ſo würde man ohne Zweifel aus jeder dieſer Drahtklemmen oder aus Drähten, welche in dieſelben eingeſchraubt ſind, Fünkchen ziehen können, wenn die andere gehörig abgeleitet iſt; ließe man die Fünkchen auf den Knopf oder die Platte eines Goldblattelektroſkops übergehen, ſo müßte dieſes auch ohne Anwendung eines Condenſators divergiren. Bei gehöriger Iſolirung würde ohne Zweifel eine große Stöhrer'ſche Rotationsmaſchine, wenn ſie auf Intenſität geſtellt iſt, ſehr bedeutende Spannungswirkungen geben.

So hat denn Sinſteden durch ſeine intereſſante Unterſuchung weſentlich zur Ergänzung unſerer Kenntniſſe von den Inductionsſtrömen beigetragen und von einer neuen Seite gezeigt, wie ſie ein Mittelglied bilden zwiſchen Reibungselektricität und galvaniſcher Elektricität.

Schon vor der Publication der eben beſprochenen Verſuche Sinſteden's hat auch Dubois-Reymond die elektriſche Spannung an den freien Enden ungeſchloſſener Inductionsſpiralen durch die Zuckungen von Froſchſchenkeln nachgewieſen, die er mit dem Namen der unipolaren Inductionszuckungen bezeichnet und auf die wir weiter unten zurückkommen werden. Durch den Druck wurden dieſe Verſuche von Dubois erſt weit ſpäter bekannt gemacht, aber ſchon am 4ten April 1845 ſprach er davon in einem Vortrage, den er in der phyſikaliſchen Geſellſchaft zu Berlin hielt. So iſt denn kein Zweifel, daß beide Gelehrte ihre Entdeckungen ganz unabhängig von einander machten, was auch ſchon aus dem Umſtande hervorgeht, daß Beide auf ganz verſchiedenem Wege zu dem Ziel gelangten, die elektriſche Spannung an den freien Enden einer eingeſchloſſenen Inductionsſpirale darzuthun. Das Verdienſt des Einen wird durch die Entdeckung des Andern nicht im mindeſten beeinträchtigt.

261 **Henry's Unterſuchungen über Induction.** Die Unterſuchungen Henry's über »elektrodynamiſche Induction« finden ſich im 6ten Bande der Transactions of the American Philosophical Society, aus welchen ſie mit Abkürzungen in Poggendorff's Annalen (Ergänzungsband von 1842, Seite 282) übergegangen ſind. Die wichtigſten Reſultate, welche durch dieſe Unterſuchungen ermittelt wurden, ſind folgende.

Die verſchiedenen Wirkungen des Extraſtromes hängen nicht in gleicher

Weise von der Länge der Spirale ab. Mit einem einfachen Element gab eine Bandspirale von 60 Fuß Länge (die Breite des Kupferblechs, aus welchem diese und die folgenden Spiralen gebildet waren, betrug $1\frac{1}{2}$ Zoll) schwache Oeffnungsfunken und keinen Schlag; eine solche Bandspirale von 93 Fuß Länge gab starke Funken und schwache Schläge; 5 Bandspiralen, zusammen 300 Fuß lang, gaben schwächere Funken, aber stärkere Schläge.

Es giebt jedoch in der Verstärkung der Schläge ebenfalls eine Gränze. Eine Rolle Kupferdraht, von $\frac{1}{16}$ Zoll Durchmesser, wurde successiv durch Zusätze von 32 Fuß langen Stücken verlängert. Nach den beiden ersten Zusätzen, also nach einer Verlängerung von 64 Fuß, fing der Glanz der Funken an abzunehmen, allein die Schläge nahmen an Stärke zu bis zu einer Drahtlänge von 575 Fuß, wo auch sie begannen schwächer zu werden.

Wendet man statt des einfachen Volta'schen Elementes eine Säule an, so werden die inductiven Effecte bei kurzen Spiralen geringer als sie bei dem einfachen Elemente waren, bei sehr langen Spiralen aber bringt eine Säule eine stärkere Inductionswirkung hervor, als ein einfaches Element.

Die eben besprochenen Beziehungen zwischen der Drahtlänge und der Stärke der verschiedenen Effecte des Extrastromes hat Henry nur im Allgemeinen, der Art nach ermittelt; eine genauere quantitative Untersuchung dieses interessanten Gegenstandes wäre sehr zu wünschen.

Bei Strömen, die durch den primären Strom in einer benachbarten Spirale inducirt wurden, ergaben sich ähnliche Resultate. Wird entweder die stromleitende Spirale oder die Inductionsspirale über eine gewisse Gränze verlängert, so nehmen die galvanischen Effecte des Inductionsstromes ab, während die Schläge verstärkt werden; aber auch hier giebt es eine weitere Gränze, über welche hinaus auch die Stärke der Schläge wieder abnimmt.

Bei vergrößertem Durchmesser des Drahtes wird auch die Gränze der Längendimensionen, bei welchen das Maximum der verschiedenen Effecte des Inductionsstroms stattfindet, weiter hinausgerückt, denn die Abnahme des Effectes bei zunehmender Länge ist nur eine Folge des vergrößerten Leitungswiderstandes; wird diese dadurch vermindert, daß man dickeren Draht anwendet, so fällt die schwächende Wirkung der Verlängerung weg.

Mit flachen Spiralen brachte Henry sehr merkliche Inductionserscheinungen hervor, wenn auch der Zwischenraum zwischen der stromleitenden und der Inductionsrolle ziemlich bedeutend war.

Ferner zeigte Henry, wie die inducirende Wirkung einer Spirale auf eine andere durch die Nähe eines guten geschlossenen Leiters geschwächt

wird. Befanden ſich z. B. drei Bandſpiralen über einander, von denen die unterſte den primären Strom leitete, die oberſte aber mit Handgriffen verſehen war, ſo erhielt man beim Oeffnen der Kette ſtarke Inductionsſchläge aus der oberſten Spirale, wenn die mittlere nicht geſchloſſen war, die Schläge verſchwanden aber, als die mittlere Spirale gut metalliſch geſchloſſen wurde.

Offenbar wirkt hier die inducirende Wirkung der primären Spirale zunächſt auf denjenigen geſchloſſenen Leiter am ſtärkſten inducirend, in welcher der Bildung von Inductionsſtrömen der geringſte Widerſtand entgegenſteht.

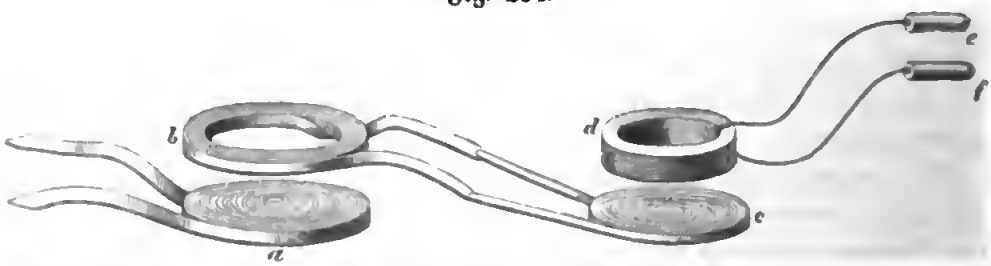
Schiebt man ſtatt der mittleren Spirale eine gutleitende Metallplatte ein, ſo übt dieſe eine ähnliche ſchwächende Wirkung aus; eben ſo wenn ſie ſich nicht zwiſchen den beiden Spiralen, ſondern über oder unter denſelben befindet.

Einen ſolchen ſtörenden Einfluß üben auch Hülſen von Meſſing aus, wenn auf ſie Drahtſpiralen aufgewunden ſind, welche zu Inductionsverſuchen dienen ſollen; deshalb dürfen auch die Hülſen magnetoelektriſcher Maſchinen nicht von Meſſing ſeyn. — Der ſtörende Einfluß der Metallhülſen kann bekanntlich dadurch aufgehoben werden, daß man ſie aufſchlitzt, weil dadurch die Bildung von Inductionsſtrömen in den Hülſen ſelbſt verhindert wird.

Der wichtigſte Theil der Unterſuchung Henry's iſt die Nachweiſung von Inductionsſtrömen höherer Ordnung.

Der primäre Strom ging durch die 90 Fuß lange Bandſpirale *a* (Fig. 254); über dieſer befand ſich die 60 füßige Bandſpirale *b*; die

Fig. 254.



Enden von *b* waren mit denen einer dritten Bandſpirale *c* verbunden, welche gleichfalls aus einem 60 Fuß langen, aber nur $^3/_4$ Zoll breiten Kupferſtreifen gemacht war; da die Spirale *c* den Schließungsbogen von *b* bildet, ſo muß in *c* der Strom circuliren, welcher in *b* durch den Einfluß der Stromunterbrechung in *a* inducirt wird. Der Strom in *c* konnte nun außer dem Einfluß von *a* inducirend auf die Drahtrolle *d* (aus 1660 Ellen eines $^1/_{49}$ Zoll dicken Drahtes gebildet) wirken. In der That bekam man bei Anfaſſung der Handhaben *e* und *f* kräftige Schläge.

Aehnliche Resultate wurden auch mit anderen Combinationen von Draht- und Bandrollen erhalten.

Nennt man den Strom in *a* den primären, so ist der in *b* und *c* der secundäre, der in *d* endlich der tertiäre, oder es ist der Strom in *d* ein Strom dritter Ordnung, der in *b* und *c* ein Strom zweiter Ordnung, wenn der in *a* als Strom erster Ordnung bezeichnet wird.

Henry hat in gleicher Weise auch die Existenz von Inductionsströmen vierter und fünfter Ordnung nachgewiesen.

Was die Richtung der inducirten Ströme höherer Ordnung betrifft, welche beim Oeffnen des Hauptstromes entstehen, so besteht, nach Henry folgende Abwechselung:

Primärer Strom	+
Strom zweiter Ordnung . . .	+
Strom dritter Ordnung . . .	—
Strom vierter Ordnung . . .	+
Strom fünfter Ordnung . . .	—

Um die Richtung der inducirten Ströme zu bestimmen, verfuhr Henry folgendermaßen: die letzte Inductionsspirale, in Fig. 254 also *d*, wurde durch eine kleine Magnetisirungsspirale geschlossen und in diese eine Nähnadel eingeschoben. Diese Nadel wurde nun durch den Inductionsstrom, welcher beim Oeffnen des Hauptstroms entstand, magnetisirt, und aus ihrer Polarität auf die Richtung des sie magnetisirenden Inductionsstroms geschlossen.

Da jedoch diese Inductionsströme, namentlich die höhere Ordnung, nur momentan sind, so ist die Bestimmung der Stromrichtung aus dem Magnetisiren von Stahlnadeln sehr trüglich, wie wir dies bereits bei der Betrachtung der Untersuchungen von Rieß gesehen haben, was auch Poggendorff in einer Note zu dem Aufsatze Henry's bemerkt.

Endlich hat Henry auch noch die Inductionen elektrischer Ströme durch Reibungselektricität nachgewiesen, und zwar der Zeit nach noch früher als Rieß, der jedoch, als er seine Untersuchungen über Induction durch Reibungselektricität machte, noch keine Kenntniß von Henry's Arbeiten haben konnte, so daß also dieselbe Entdeckung selbstständig von beiden Physikern diesseits und jenseits des Oceans gemacht wurde. Da jedoch dieser Gegenstand bereits oben, bei Gelegenheit des Berichtes über die Rieß'schen Untersuchungen, ausführlich besprochen wurde, so kann wohl hier eine nähere Erörterung der entsprechenden Untersuchungen Henry's unterbleiben.

262 **Induction durch den Erdmagnetismus.** In dem 15ten Bande der Annales de chimie et de physique, Seite 34 befindet sich ein Abriß der Geschichte der durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme von Melloni.

Ich lasse hier das Wesentlichste von dem Inhalt dieses Aufsatzes folgen, welcher den jetzigen Standpunkt unserer Kenntnisse in diesem Gebiete darlegt.

Als Faraday im Jahre 1830 die Induction elektrischer Ströme in geschlossenen Leitern durch rasche Annäherung und Entfernung von Magneten entdeckt hatte, schloß er ganz richtig, daß auch der Erdmagnetismus in einem bewegten Metallbogen elektrische Ströme induciren müsse.

Der Versuch bestätigte seine Erwartung. Ein Eisenstab von 1 Fuß Länge und $^7/_8$ Zoll Durchmesser war mit einer Spirale von Kupferdraht umgeben, deren beide Enden mit den Drahtenden eines Multiplicators leitend verbunden waren. Der Stab wurde in der Richtung der Inclinationsnadel gehalten und dann rasch im magnetischen Meridian umgedreht, so daß er mit verwechselten Enden nun dieselbe Stellung einnahm wie vorher. Dabei machte die Nadel des Multiplicators einen Ausschlag von einigen Graden, um nach einigen Schwingungen wieder auf Null zurückzukehren; dreht man nun den Stab abermals um, so entsteht ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite. Wiederholt man diese Umdrehungen des Stabes mehrmals nach einander und zwar stets wenn die Nadel im Rückgang begriffen, die Gleichgewichtslage passirt, so summirt sich die neue Wirkung mit der vorhergehenden und die Nadel wird in Schwingungen versetzt, welche einen Bogen von 150 bis 160 Graden umfassen.

In dieser Form des Versuchs ist jedoch die inducirende Wirkung des Erdmagnetismus noch nicht direct nachgewiesen, denn der größte Theil des Stromes, welcher die Nadel ablenkt, wird von dem Erdmagnetismus nur indirect mittelst der Umkehrung der Polarität im Eisenstab hervorgebracht. Faraday entfernte deshalb den Eisenstab aus der Spirale und wiederholte dann die Versuche in der angegebenen Weise. Auch jetzt wurde die Nadel abgelenkt, obgleich viel schwächer als vorher; durch 10 bis 12malige Umdrehung der Spirale in den gehörigen Intervallen gelang es aber auch, einen Schwingungsbogen von 80 bis 90 Grad zu erreichen.

Diese Versuche sind in den beiden Abhandlungen beschrieben, welche Faraday über diesen Gegenstand im Jahre 1831 in den Philosophical Transactions publicirte (P. A. XXV. 91 und 142).

Kaum hatten die italienischen Naturforscher Nobili und Antinori Nachricht von Faraday's Entdeckung der Induction elektrischer

Ströme durch Stahlmagnete erhalten, als auch ſie dieſe Verſuche anſtellten, um die Induction durch den Erdmagnetismus nachzuweiſen, und zwar noch ehe ſie die entſprechenden Abhandlungen Faraday's geleſen hatten; ſo haben ſie dieſe Erſcheinung gewiſſermaßen zum zweiten Male entdeckt.

Nachdem nun die inducirende Kraft unſeres Planeten durch die Ablenkung der Magnetnadel dargethan war, kam es nur noch darauf an, Mittel zu finden, die durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme ſtark genug zu machen, um auch die übrigen Wirkungen elektriſcher Ströme, chemiſche Wirkungen, Schläge, Funken u. ſ. w. hervorzubringen.

Faraday verfolgte aber dieſen Gegenſtand nicht, weil er mit anderen Unterſuchungen beſchäftigt war, und Nobili, welcher eine hierher gehörige Verſuchsreihe begonnen hatte, mußte Italien verlaſſen. Kurz vor ſeinem Tode publicirte er jedoch mit Antinori noch eine zweite Abhandlung über die Induction durch den Erdmagnetismus, in welcher nachgewieſen wurde, daß, wenn man die Verſuche ohne Eiſenkerne anſtellt, die Stärke der inducirten Ströme mit dem Durchmeſſer der Drahtwindungen zunimmt (Antologia di Firenze, Nro. 138).

Die bis dahin in verwandten Zweigen gemachten Erſcheinungen benutzend, nahmen Linari und Palmieri gegen Ende des Jahres 1840 das Studium der durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme wieder auf, und nach einigen Jahren machten ſie der Akademie zu Paris die Anzeige, daß es Ihnen gelungen ſey, mit Hülfe eines Apparates, den ſie eine magneto-elektrotelluriſche Batterie nannten, Schläge und Waſſerzerſetzung zu erhalten (Comptes rendus 1843. 1er sem. p. 1442). Statt des eiſernen Stabes wandten ſie eine Reihe hohler eiſerner Röhren an; die elektriſchen Ströme, welche die Drahtwindungen durchliefen, wurden durch einen ähnlichen Mechanismus geſammelt, wie an der Clarke'ſchen Rotationsmaſchine und konnten alsdann durch geſäuertes Waſſer oder durch die Hände des Experimentators geleitet werden.

Eine zur Prüfung des Gegenſtandes von der Akademie niedergeſetzte Commiſſion, zu welcher auch Melloni gehörte, fand dieſe Wirkungen vollkommen beſtätigt. Ein Beweis, daß die beobachteten Ströme wirklich vom Erdmagnetismus inducirt waren, ergab ſich daraus, daß alle Wirkungen aufhörten, wenn die Rotationsaxe der Maſchine in den magnetiſchen Meridian geſtellt wurde (vollſtändig kann erſt die inducirende Wirkung des Erdmagnetismus verſchwinden, wenn die Umdrehungsaxe in der Richtung der Inclinationsnadel liegt). Obgleich die Wirkungen ſchwach waren, ſo gaben ſie doch Hoffnung, daß man mittelſt dieſer Ströme auch noch Funken hervorbringen werde. — Linari und Palmieri erhielten

vom Gouvernement eine Unterstützung zur Fortsetzung ihrer Versuche, und in der That gelang es ihnen nach einigen Monaten, Funken an ihrem terrestrischen Inductionsapparat zu zeigen.

Die Commission erstattete auch darüber der Akademie Bericht in der Sitzung vom 23. April 1844, und sprach dabei den Wunsch aus, die genannten Physiker möchten danach streben, diese Stromwirkungen auch ohne Vermittelung von weichem Eisen nur durch die directe Inductionswirkung des Erdmagnetismus hervorzubringen. Leider konnte Linari diese Arbeiten nicht weiter fortsetzen, weil er von einer Augenkrankheit befallen wurde; Palmieri aber brachte in der That diese Wirkungen nur mit Hülfe einer rotirenden Kupferdrahtspirale hervor.

Palmieri beschreibt seinen Apparat in den Archives de l'Electricité T. V, p. 189 (P. A. LXVII, 244.); die Spirale, mit welcher er Funken, Schläge und Wasserzersetzung durch erdmagnetische Induction ohne Vermittelung von Eisen hervorbrachte, hatte 200 Windungen eines 1,5 Millimeter dicken Kupferdrahtes, welche auf einen elliptischen Rahmen gewickelt waren, dessen große Axe 2,2^m, dessen kleine aber 0,6^m betrug *). Die große Axe dieser Ellipse dient, auf dem magnetischen Meridian senkrecht stehend, als Umdrehungsaxe.

Palmieri wählte die Form der Ellipse, weil, wie er angiebt, die Wirkung einer solchen Spirale größer ist als die einer kreisförmigen von gleichem Umfang.

Eine nähere Beschreibung des Apparates kann ich leider nicht mittheilen, weil mir die Originalabhandlung nicht zugänglich ist, ohne Zweifel aber wird man die besprochenen Erscheinungen der tellurischen Induction sehr gut mit einer solchen Spirale hervorbringen können, wenn man diese Spirale in gehöriger Verbindung mit einem solchen Commutator setzt, wie ihn Stöhrer an seine magnetoelektrischen Maschinen anbringt. Bei solcher Einrichtung würde der Apparat auch zu messenden Versuchen geeignet seyn.

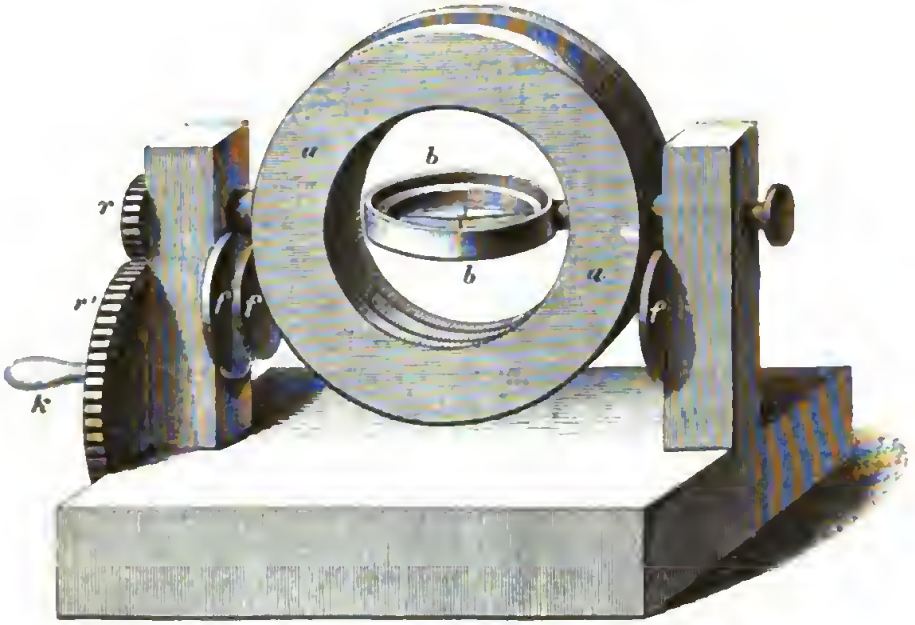
263 **Weber's Inductionsinclinatorium.** Denken wir uns, daß der Ring eines der Tangentenbussole ähnlichen Apparates um seine horizontale mit dem magnetischen Meridian zusammenfallenden Axe rasch umgedreht werden könnte, ohne daß die Magnetnadel, welche sich in der Mitte dieses Ringes befindet, ihren festen Stand verlöre, so müßte die Nadel durch die Ströme, welche der Erdmagnetismus im rotirenden Ringe inducirt, abgelenkt werden.

---

*) An der citirten Stelle von Poggendorff's Annalen sind 1,2 und 0,9 Meter als die Dimensionen der Ellipse angegeben. Die oben angegebenen Zahlen sind dem Berliner Jahresberichte für 1845 entnommen.

Die eben bezeichnete Aufgabe hat nun Weber mit dem, Fig. 255, abgebildeten Inductionsinclinatorium gelöst. *aa* ist ein Ring, welcher 100

Fig. 255.



Millimeter inneren, und 161^{mm} äußeren Durchmesser hat; er besteht aus 16 ringförmig ausgeschnittenen Kupferblechen, von denen 8 auf der einen, 8 auf der andern Seite sich befinden, während in der Mitte ein Zwischenraum von 12^{mm} bleibt. Die Dicke des ganzen Ringes mit Einschluß des Zwischenraums betrug 34^{mm}. Die Axe, um welche dieser Ring gedreht wird, liegt auf beiden Seiten auf Frictionsrollen. Die Axe auf der rechten Seite ist hohl, und durch diese Höhlung ragt ein Stäbchen in den Ring hinein, welches die Bussole *b* trägt. Die Rotation des Ringes um seine Axe wird unter Vermittelung der Zahnräder *r* und *r'* durch die Kurbel *k* bewirkt. 7 Umdrehungen der Kurbel entsprechen 40 Umdrehungen des Inductionsringes.

Das Instrument wird so aufgestellt, daß die Umdrehungsaxe des Inductionsringes in den magnetischen Meridian fällt.

Bei jedem Schlage eines Secundenzählers wurde die Kurbel $^1/_2$-mal oder 1mal herumgedreht, was für den ersten Fall 166,7, für den zweiten 333,4 Umdrehungen des Inductors in der Minute ausmacht, da der Secundenschläger nicht genau Secunden schlug, sondern 60 Schläge = 61,7 Secunden waren.

Bei 166,7 Umdrehungen des Inductors in einer Minute wurde die Magnetnadel um 5,63°, bei 333,4 Umdrehungen um 10,76° abgelenkt,

die Ablenkung, mithin alſo auch die Stärke des inducirten Stromes, iſt alſo nahe zu der Umdrehungsgeſchwindigkeit proportional.

Da die Magnetnadel bei ihrer Ruhelage mit der Umdrehungsaxe des Ringes zuſammenfällt, ſo kann ſie im rotirenden Ringe keine Ströme induciren; eben ſo wenig inducirt der horizontale Theil des Erdmagnetismus im rotirenden Ringe einen Strom, die inducirten Ströme rühren alſo lediglich von der verticalen Compoſanten des Erdmagnetismus her.

Während der Rotation des Ringes wirken auf die Nadel zwei Kräfte, eine ablenkende, welche von dem inducirten Strom herrührt, welche alſo dem verticalen Theile T' des Erdmagnetismus proportional iſt, welche wir alſo mit $b\,M\,.\,T'$ bezeichnen können, wenn M die Stärke des Nadelmagnetismus, und b ein conſtanter Factor iſt. Der horizontale Theil des Erdmagnetismus zieht aber die Nadel mit der Kraft $M\,T$ zurück, wenn T die horizontale Intenſität des Erdmagnetismus bezeichnet, folglich iſt die Tangente des Ablenkungswinkels v

$$tang.\ v = \frac{b\,M\,T'}{M\,T} = b\,\frac{T'}{T} = b\,.\,tang.\ i$$

oder

$$tang.\ i = a\ tang.\ v,$$

wenn $a = \frac{1}{b}$, denn der Quotient $\frac{T'}{T}$ iſt der Tangente der magnetiſchen Inclination i gleich. Man könnte alſo aus der beobachteten Ablenkung v der Nadel unſeres Inſtrumentes die Inclination i berechnen, wenn nur der Factor a bekannt wäre.

Dieſen Factor kann man aber umgekehrt für eine beſtimmte Umdrehungsgeſchwindigkeit beſtimmen, wenn die Inclination des Ortes genau bekannt iſt. Nach den oben angeführten Beobachtungen war für 166,7 Umdrehungen in der Minute die Ablenkung im Mittel $5{,}465^0$, alſo $tang.\ v = 0{,}0962$; für Göttingen, wo die Verſuche mit dem Inſtrument angeſtellt wurden, iſt die Inclination $67^0\ 50'$, alſo $tang\ i = 2{,}4545$, alſo iſt

$$a = \frac{2{,}4545}{0{,}0962} = 25{,}514$$

Für die erwähnte Umdrehungsgeſchwindigkeit haben wir alſo

$$tang\ i = 25{,}514\ tang.\ v.$$

Man kann alſo nun, wenn an irgend einem anderen Orte Verſuche mit dieſem Inſtrumente gemacht werden, aus dem beobachteten Ablenkungswinkel v die Inclination des Ortes beſtimmen. Geſetzt, man habe mit demſelben Inſtrumente an irgend einem Orte für die erwähnte Umdrehungsgeſchwindigeit $v = 3{,}5^0$ gefunden, ſo ergäbe ſich für die Inrlination dieſes Ortes

$$tang.\ i = 25{,}514\ .\ 0{,}06116 = 0{,}15605$$
$$i = 8^{0}\ 52'.$$

Der Factor von *tang. v* ändert übrigens im umgekehrten Verhältniß die Umdrehungsgeſchwindigkeit; für 500 Umdrehungen des Ringes (natürlich an demſelben Inſtrument) waren demnach der Factor von *tang. v* $= 25{,}514 \cdot \frac{166{,}7}{500}$.

So iſt man alſo vermöge dieſer äußerſt ſinnreichen Methode im Stande, aus der beobachteten Ablenkung einer horizontalen Magnetnadel die Inclination des Ortes zu beſtimmen. (P. A. XLIII, 493.)

Neunter Abſchnitt.

Diamagnetismus.

---

264 **Drehung der Polariſationsebene durch Elektromagnete und magnetiſirende Spirale.** Faraday's wichtige Entdeckung, daß die Polariſationsebene von Strahlen, welche gewiſſe durchſichtige Körper durchlaufen unter dem Einfluß von Elektromagneten oder Magnetiſirungsſpiralen gedreht werde, iſt bereits in meinem Lehrbuch der Phyſik (3. Auflage, 2. Bd., S. 266) in ihren Grundzügen auseinander geſetzt worden. Eine Wiederholung deſſen, was ich dort über dieſen Gegenſtand geſagt habe, dürfte wohl unnöthig ſeyn, und ſo kann ich mich darauf beſchränken, hier nur noch einige Notizen zur Ergänzung des dort Mitgetheilten zu geben.

Faraday beſpricht den Einfluß des Magnetismus und des galvaniſchen Stromes auf die Lage der Polariſationsebne in ſeiner 19ten Reihe von Experimentalunterſuchungen über Elektricität (Phil. Trans. f. 1846 p. 1. — P. A. LXVIII, 105). Den Unterſchied zwiſchen der Drehung der Polariſationsebne in circular polariſirenden Körpern und der Drehung, wie ſie durch den galvaniſchen Strom hervorgebracht wird, beſpricht Faraday in einem Aufſatz, welcher in dem Philosophical Magazine (T. XXIX, 153, 249) unter dem Titel: über die magnetiſche Affection des Lichtes u. ſ. w. erſchien (P. A. LXX, 283).

Die magnetiſche Drehung der Polariſationsebene beobachtete Faraday an allen amorphen durchſichtigen Körpern, die er unterſuchte, alſo bei allen Gläſern; ebenſo bei denjenigen kryſtalliſirten Körpern, welche dem regulären Syſtem angehören, wie Steinſalz, Alaun, Flußſpath; dagegen blieb, nach Faraday's Beobachtung, dieſe Drehung aus bei allen doppelt brechenden Kryſtallen.

Der Elektromagnet bewirkt die Drehung der Polariſationsebene in allen

Flüſſigkeiten, mögen ſie nun an und für ſich ſchon ein Drehungsvermögen haben oder nicht.

Bei keinem der Gaſe, welche Faraday unterſuchte (atmoſphäriſche Luft, Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Stickſtoff, Stickſtoffoxydul, ölbildendes Gas, ſchweflige Säure, Chlorwaſſerſtoff, Kohlenſäure u. ſ. w.), fand er eine Drehung der Polariſationsebene durch Elektromagnetismus.

Bei den an und für ſich drehenden Flüſſigkeiten ſcheint das natürliche Drehungsvermögen keinen Einfluß auf die Größe der elektromagnetiſchen Drehung zu haben; die beiden Drehungen afficiren einander nicht, ſie ſind zu einander zu addiren oder von einander zu ſubtrahiren, je nach dem ſie in gleichem oder in entgegengeſetztem Sinne wirken.

Bei Anwendung von Elektromagneten erreicht das erſcheinende Licht erſt einige Zeit nach Schließung der Kette ſeine volle Stärke wohl aus keinem andern Grunde, als weil zur vollen Entwickelung des Magnetismus im Eiſenkern einige Zeit nöthig iſt.

Wiederholung und Vervollkommnung des Verſuchs über die elektromagnetiſche Drehung der Polariſationsebene. Als die neue Entdeckung Faraday's nur erſt aus kurzen Notizen bekannt geworden war, wurden auf dem Continente Verſuche gemacht, um die Erſcheinung gleichfalls hervorzubringen. In Deutſchland war es Böttger, in Frankreich war es Pouillet, denen es zuerſt gelang, und zwar ſtellte Böttger den Verſuch mit einer Spirale an, wie bereits in der dritten Auflage meines Lehrbuches der Phyſik erwähnt ward, während Pouillet ſich ſtarker Elektromagnete bediente. Letzterer fand, daß das Diamagneticum in der Mitte zwiſchen den beiden Polen, wie *d* in Fig. 256 die größte 265

Fig. 256.

Drehung zeige, daß ſie abnehme, wenn man es in der Verbindungslinie der beiden Pole dem einen, alſo z. B. nach *a* zuſchiebe, daß ſie Null wird, wenn die Mitte des Diamagneticums gerade dem Mittelpunkte des einen Poles gegenüberſteht, und daß die Drehung in die entgegengeſetzte übergeht, wenn man das Diamagneticum noch über den Pol hinausſchiebt, ſo daß es ſich nicht auf der Verbindungslinie der beiden Pole ſelbſt, ſondern auf ihrer Verlängerung befindet, wobei jedoch ſtets angenommen iſt, daß der Lichtſtrahl in der Linie *a b* fortgeht. Es iſt dies übereinſtimmend mit dem ſchon von Faraday aufgefundenen Grundgeſetz der elektromagnetiſchen Drehung der Polariſationsebene, daß dieſelbe ſtets in der

Richtung ſtattfindet, in welcher die Ampèriſchen (poſitiven) Ströme einen Eiſenſtab umkreiſen würden, wenn er an die Stelle des Diamagneticums gebracht würde.

Da die Drehung der Polariſationsebene unter den erwähnten Umſtänden, ſelbſt bei den geeigneteren Subſtanzen, nur eine geringe iſt, ſo mußte man ſeine Sorgfalt vorzugsweiſe darauf richten, die Effecte einer kleinen Drehung möglichſt ſichtbar zu machen, was nur durch Vervollkommnung des optiſchen Theils des Apparates möglich iſt. Pouillet wandte bei ſeinen Verſuchen eine, von Soleil conſtruirte Vorrichtung an (Compt. rend. XXII, 135.), durch welche auch die kleinſte Drehung der Polariſationsebene bemerklich gemacht und gemeſſen werden kann. Für uns beſteht der weſentlichſte Theil dieſes Apparates in einer Doppelplatte (double plaque) von Quarz, welche aus zwei ſenkrecht zur Axe geſchliffenen, neben einander gekitteten, und erſt nach dieſer Kittung vollſtändig abgeſchliffenen und polirten Quarzplatten beſteht, von denen die eine rechts, die andere links drehend iſt. Da die beiden Hälften der Platte vollkommen gleich dick ſind, ſo wird ſie zwiſchen den gekreuzten Nichols auch vollkommen gleichförmig gefärbt erſcheinen, ſobald aber das Ocularnichol nur etwas aus dieſer Lage herausgedreht wird, ſo erſcheinen ſogleich die beiden Hälften der doppelten Platte ungleich gefärbt.

Dieſe doppelte Platte iſt nun dicht hinter dem Nichol angebracht, durch welches der Lichtſtrahl in den Apparat eintritt; dann folgt der auf die elektromagnetiſche Drehung der Polariſationsebene zu unterſuchende Körper, und endlich das Ocularnichol, welches ſo geſtellt wird, daß die beiden Hälften der doppelten Platte gleich gefärbt erſcheinen, wenn der Elektromagnet nicht durch den galvaniſchen Strom erregt iſt. Sobald nun der Strom den Elektromagneten zu umkreiſen beginnt, wird die Polariſationsebene in dem zwiſchen den Magnetpolen befindlichen Körper gedreht, und in Folge deſſen werden nun die beiden Hälften der Doppelplatte ungleich gefärbt erſcheinen; man muß das Ocularnichol um eine beſtimmte Anzahl von Graden drehen, wenn die Gleichheit der Färbung wieder hergeſtellt werden ſoll.

Wenn ſchon durch eine ganz geringe Drehung der Polariſationsebene in dem zwiſchen den Magnetpolen befindlichen Diamagneticum die Ungleichheit der Färbung der beiden Hälften der doppelten Platte recht deutlich hervortreten ſoll, ſo iſt es keineswegs gleichgültig, welche Dicke ſie hat; die geeignetſte iſt 3,75^{mm}; bei dieſer Dicke der Doppelplatte erſcheint dieſelbe zwiſchen parallel geſtellten Nichols purpurviolet, ein Farbenton, welcher vorzugsweiſe durch die äußerſten Strahlen des Spectrums gebildet wird, während das Gelb in demſelben ganz ausgelöſcht wird. Dieſer Farbenton, welcher die Uebergangsfarbe (teinte de passage) genannt wird,

hat die Eigenthümlichkeit, sehr rasch in Blau oder Roth überzugehen, so daß schon bei der geringsten Drehung des Oculamichols oder bei der geringsten Drehung der Polarisationsebene in dem zwischen den Magnetpolen befindlichen Diamagneticum die eine Hälfte der Doppelplatte eine blaue, die andere eine rothe Färbung annimmt.

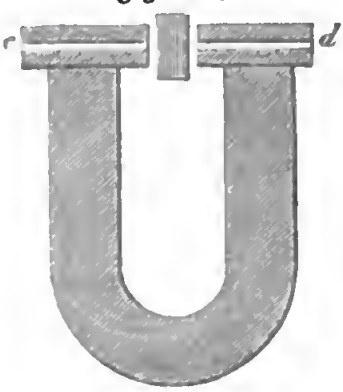
Wenn die Drehung der Polarisationsebene in demjenigen Körper, welcher sich mit der doppelten Platte zwischen den beiden Nichols befindet, sehr groß ist, so ist es bei einfallendem weißen Licht nicht mehr möglich durch Drehung des Oculamichols die Gleichheit der Farbe in den beiden Hälften der doppelten Platte wieder herzustellen, wie sich aus den Gesetzen der Circularpolarisation leicht nachweisen läßt; in diesem Falle wird die Drehung, welche durch den zu prüfenden Körper hervorgebracht wurde, durch einen aus zwei Quarzkeilen zusammengesetzten Apparat neutralisirt. Auch Pouillet machte bei seinen Versuchen von diesen Quarzkeilen Gebrauch. Da jedoch gerade bei der elektromagnetischen Circularpolarisation meist nur geringe Drehungen vorkommen, so ist dieser Theil des Soleil'schen Apparates für uns nicht wesentlich, weshalb auch hier von seiner näheren Beschreibung abstrahirt werden kann.

Eine andere Methode, kleine Drehungen der Polarisationsebene merklich zu machen, besteht darin, daß man das Oculamichol durch ein achromatisirtes Kalkspath- oder Quarzprisma ersetzt, welches doppelte Bilder giebt. Ist nun vor dem Nichol, durch welches die Strahlen polarisirt werden, eine Blendung mit kreisförmiger Oeffnung angebracht, so wird man im Allgemeinen zwei Bilder dieser Oeffnung sehen. Der ganze Apparat muß nun gerade so adjustirt werden, daß diese beiden kreisförmigen Bilder einander gerade berühren, und dann dreht man das Ocularprisma so, daß die beiden Bilder genau gleich hell erscheinen, wenn keine Circularpolarisation zwischen dem Nichol und dem Zerlegungsprisma stattfindet; sobald diese aber nun durch Schließung der Kette bewerkstelligt wird, hört die Gleichheit der beiden Bilder auf, und dies ist um so merklicher, weil sie unmittelbar neben einander liegen.

E. Becquerel (Ann. de chim. et de phys. T. XVII, 437.) setzte auf die Pole eines vertical stehenden Uförmigen Elektromagneten parallelepipedische Stücke von weichem Eisen, welche 11 Centimeter breit (gleich dem Durchmesser der Schenkel seines Elektromagneten), 16 Centimeter lang und 5 Centimeter hoch waren. Diese Stücke waren ihrer Länge nach durchbohrt, und zwar hatte die Höhlung 2 Centimeter Durchmesser; gehörig aufgesetzt, bildet die eine dieser Röhren genau die Verlängerung der anderen. Die zu untersuchende Substanz wird zwischen diese Eisenstücke angebracht, welche man, je nach den Umständen, bald mehr einander nähern, bald weiter von einander entfernen kann. Aus

Fig. 257 kann man die Disposition des Apparates ersehen. Die Nichol'schen Prismen sind bei *c* und *d* angebracht.

Fig. 257.



Die Mittel, mit welchen Becquerel experimentirte, waren sehr bedeutend. Der Durchmesser des Eisenkerns seines Elektromagneten betrug, wie der, mit welchem Faraday operirte, 11 Centimeter. Auf jeden Schenkel waren 910 Meter eines 2 Millimeter dicken Kupferdrahtes aufgewunden

Feste Körper, die man dem Versuch unterwerfen will, werden mit parallelen Flächen versehen, Flüssigkeiten aber zwischen parallelen Wänden von dünnem Glas an die entsprechende Stelle des Apparates gebracht. Damit diese Körper nicht zerdrückt werden, wenn nach Schließung der Kette die beiden Eisenstücke sich anziehen, wird zwischen dieselben noch eine Holzplatte gebracht, welche um etwas dicker ist, als die zu untersuchende Platte.

In einem Prisma von schwerem Glase (kiesel-borsaurem Bleioxyd) von 48 Millimeter Länge, betrug die mit dem beschriebenen Apparat hervorgebrachte Drehung der Polarisationsebene (für die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit) 16°, und zwar bei Anwendung einer Säule von 40 bis 50 mit starker Säure gefüllten Bunsen'schen Bechern

Das Stück schweren Glases, welches Becquerel zu diesem Versuch anwandte, wirkte theilweise selbst depolarisirend, wie dies bei schnell abgekühlten Gläsern stets der Fall ist, und was oft bei der größten Sorgfalt bei der Bereitung mancher Glassorten kaum vermieden werden kann. In solchen Fällen hat man die Veränderungen zu beobachten, welche im schwarzen Kreuze vorgehen.

Nach den Versuchen von Becquerel befolgt die Größe der Drehung der Polarisationsebene für die verschiedenfarbigen Strahlen dasselbe Gesetz, welches Biot für die natürliche Drehung im Quarz, in einer Zuckerlösung u. s. w. nachgewiesen hat, d. h. unter sonst gleichen Umständen verhält sich die Drehung der Polarisationsebene umgekehrt, wie die Wellenlänge der verschiedenfarbigen Strahlen.

Wenn man mit Platten derselben Substanz experimentirt, welche aber verschiedene Dicke haben, so findet man nach Becquerel's Angaben, daß eine Platte von 1 bis 2 Centimeter Dicke, wenn die Eisenstücke ihr auf beiden Seiten fast bis zur Berührung genähert sind, eine fast eben so große Drehung gab, wie eine 10 Centimeter dicke unter gleichen Umständen. Es kommt dies, nach Becquerel's Meinung, daher, daß,

wenn man die Eisenstücke nähert, ihr polare Intensität in dem Maaße wächst, daß durch die Zunahme der magnetischen Intensität die Abnahme in der Dicke der untersuchten Substanz fast compensirt wird. Wenn man aber die Eisenstücke in gleicher Entfernung läßt, und zwischen sie Platten von verschiedener Dicke bringt, so vermindert sich der Effect, wenn die Platten dünner werden. Es ist deshalb nicht vortheilhaft, Platten anzuwenden, welche mehr als einige Centimeter dick sind.

Auch bei diesen Versuchen zeigte sich das schwere Glas am wirksamsten; darauf folgt Flintglas und endlich Krownglas.

Unter den Flüssigkeiten fand Becquerel die Auflösungen der Chlormetalle besonders wirksam. Bei 1 Centimeter Dicke gab eine Lösung von Chlorzink 6°, Chlorcalcium und Chlornatrium 4,5°, reines Wasser 3° Drehung. Alkohol und Aether wirkten schwächer als Wasser.

Faraday hatte an doppeltbrechenden, senkrecht auf die Axe geschliffenen Krystallen keine Drehung der Polarisationsebene finden können. Becquerel beobachtete bei einigen eine schwache Wirkung; so z. B. bei zwei auf einander gelegten Quarzplatten, von denen die eine rechts-, die andere linksdrehend und welche gleich dick waren, so daß sich die Wirkung ihrer eigenthümlichen Drehung aufhob. An einer gelblichen Platte von Beryll zeigte sich eine schwache Wirkung, an einer grünen blieb sie aus. Eben so beobachtete Becquerel bei einer Turmalinplatte einen schwachen Effect, bei einigen anderen dagegen nicht.

Um die Drehung der Polarisationsebene durch Elektromagnetismus zu zeigen, construirte Ruhmkorff einen Apparat, welcher mit Hülfe der Fig. 258 leicht verständlich zu machen ist (Comptes rendus T. XXIII, 417, 538; Ann. d. chem. et d. phys. XVIII, 318.). Zwei eiserne Cylinder, von denen jeder 9 Centimeter lang ist und 3 Centimeter Durchmesser hat, sind mittelst einer eisernen Stange so mit einander verbunden, daß die Axe des einen die Verlängerung von der Axe des anderen bildet, und daß ihre conischen, einander zugewandten Enden 1 Centimeter weit von einander abstehen. Diese eisernen Cylinder sind ihrer Länge nach durchbohrt, und zwar hat das cylindrische Loch 1 Centimeter Durchmesser. Um jeden dieser hohlen Cylinder ist ein 100 Meter langer, 2 Millimeter dicker Kupferdraht gewunden; der Strom wird durch die Spiralen so hindurchgeleitet, daß die beiden einander zugekehrten Pole ungleichnamig sind.

Fig. 258.

Matthiesen aus Altona hat viele Glassorten untersucht und unter

denſelben viele gefunden, welche unter dem Einfluſſe des Elektromagneten noch ſtärker drehen, als Faraday's ſchweres Glas ($SiO_3 . 2BO_3 PbO$). Namentlich zeichnen ſich in dieſer Beziehung die reinen Bleiſilicate SiO_3 $6PbO$ und $SiO_3 . 4PbO$, welche doppelt ſo ſtark wirken, als das Borſilicat von Blei. Leider laufen dieſe Glasſorten, wie auch das Faraday'ſche ſchwere Glas, an der Luft an. (Compt. rend. T. XXIV, p. 969; T. XXV, p. 20. Pogg. Ann. LXXIII, 65).

Die ausführlichſte Unterſuchung über magnetiſche Circularpolariſation hat Bertin angeſtellt (Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XVIII, p. 5. Pogg. Ann. LXXV, 420). Alle in ſeiner Abhandlung gegebenen Zahlen ſtellen die volle Drehung dar, welche die Polariſationsebene durch die Richtungsänderung des Stromes erleidet. — Nehmen wir an, man habe das Ocularnichol auf Null geſtellt und ſchließe nun die Kette, ſo wird die Polariſationsebene nach einer Seite, etwa nach der rechten gedreht, und man muß das Ocularnichol um n Grad rechts drehen, um das Geſichtsfeld wieder auf ein Minimum von Lichtſtärke zu bringen; kehrt man aber jetzt den Strom ganz um, ſo muß man den Zerleger nun um $2n$ Grad nach der Linken drehen, um das Geſichtsfeld wieder dunkel zu machen. Dieſe der Stromumkehrung entſprechende Drehung $2n$ iſt es, welche Bertin ſtets beobachtete.

Wie die Erſcheinungen der gewöhnlichen Circularpolariſation, ſo würden auch die Erſcheinungen der elektromagnetiſchen Circularpolariſation weit einfacher werden, wenn man ſtatt des weißen Lichtes, homogenes anwendete, wenn man etwa durch rothe Gläſer beobachtete.

Bertin wandte bei ſeinen Verſuchen theils die Becquerel'ſche, theils die Ruhmkorff'ſche Vorrichtung an. Wie ſehr die Wirkung mittelſt der durchbohrten Aufſätze Becquerel's im Vergleich gegen die urſprüngliche Beobachtungsmethode Faraday's erhöht wird, geht aus Folgendem hervor. Bei Anwendung deſſelben Elektromagneten werden folgende Drehungen beobachtet.

		Drehung			
Subſtanz	Dicke	mit Aufſätzen		ohne Aufſätze	
Sehr dichtes Flintglas	55,1 mm	21°	0′	4°	30′
Faraday's Glas	48,3	25	6	6	30
Deſtillirtes Waſſer	130,0	5	30	3	0

Begreiflicher Weiſe ändert ſich der Effect bei Anwendung der gleichen Anzahl galvaniſcher Elemente, je nachdem man ſie anders combinirt. Bertin hat darüber beſondere Verſuche angeſtellt. Mit einem Ruhmkorff'ſchen Apparate brachte er in einem 39 Millimeter langen Stück Faraday'ſchen Glaſes folgende Drehungen hervor:

Anzahl der Elemente	Mit einer Säule von		Beobachtete Drehung	
80	80	1 fachen Bechern	23°	30′
80	40	2 » »	25	20
80	20	4 » »	26	30
40	40	1 fache Becher	20	30
40	20	2 » »	22	30
40	10	4 » »	18	30
20	20	1 fache Becher	17	30
20	5	4 » »	13	0
10	10	1 fache Becher	14	30
1	1	1 fache Becher	3	

Um bei gegebener Becherzahl die zweckmäßigste Combination derselben zu ermitteln, hätte man übrigens nicht nöthig, erst eine solche Versuchsreihe anzustellen. Hat man einmal den Widerstand des Spiraldrahtes ermittelt, welcher die Eisenkerne des Elektromagneten umgiebt, so kann man leicht berechnen, wie man eine gegebene Anzahl von Bechern verbinden muß, um die größte Wirkung zu erhalten.

Bertin hat in einer Vorlesung die Erscheinungen der magnetischen Circularpolarisation mittelst einer Soleil'schen Lampe auch objectiv dargestellt.

Die Richtung der Drehung der Polarisationsebene fand er in allen möglichen Combinationen stets dem schon von Faraday ausgesprochenen Gesetze entsprechend.

Bertin vergleicht nun dies Gesetz mit der Theorie, welche Fresnel von der drehenden Polarisation gegeben hat: »Nachdem er (Fresnel) »bewiesen hat, daß ein geradlinig polarisirter Strahl zerlegt werden kann »in zwei circular polarisirte von entgegengesetzter Drehung und umgekehrt, brauchte er nur anzunehmen, daß eine auf ihrer Axe winkelrechte »Quarzplatte die Eigenschaft habe, circularpolarisirende Strahlen von entgegengesetzter Drehung mit ungleicher Geschwindigkeit durchzulassen, und »alle Erscheinungen beim Quarz ergaben sich als nothwendige Folgen. »Ebenso dürfen wir nur annehmen, die Gegenwart des Elektromagneten »oder, was dasselbe ist, eines kreisrunden Stromes ertheile den durchsichtigen »Körpern die Eigenschaft, denjenigen circularpolarisirten Strahlen, deren »Lichttheilchen sich in gleichem Sinne wie der Strom drehen, einen leichteren Durchgang zu verstatten, und das allgemeine Gesetz der elektromagnetischen Circularpolarisationen stellt sich als nothwendige Folge dieser einfachen Hypothese dar.«

Auf eine sehr zweckmäßige Weise benutzte Bertin die Eigenschaft der magnetischen Circularpolarisation, daß ein Strahl, welcher im Diamagneticum hin und her geht, doppelt so stark gedreht erscheint, als wenn er nur

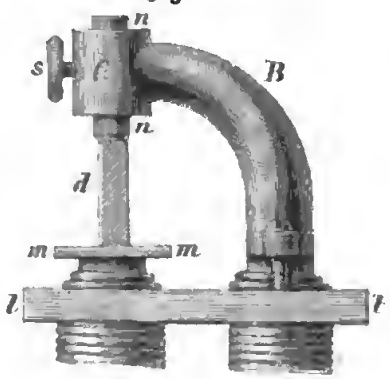
einmal die Dicke deſſelben durchlaufen hätte, indem er einen Nörremberg'ſchen Polariſationsapparat geradezu auf den einen Pol des (verticalſtehenden) Elektromagneten ſetzte. Der belegte horizontale Spiegel c dieſes Polariſationsapparates (ſiehe mein Lehrbuch der Phyſik 3te Aufl. 2ter Bd. S. 270.) wurde dort auf die Fläche des Elektromagneten gebracht und auf dieſen ein Stück Faraday'ſchen Glaſes. So lange kein Strom durch den Apparat geht, ſieht man das Geſichtsfeld dunkel, wenn die Polariſationsebenen des untern Polariſationsſpiegels und des Zerlegers (beſſer ein Nichol'ſches Prisma als ein Spiegel) gekreuzt ſind; ſo wie aber der Strom hindurchgeht, erſcheint die Platte hell, und man muß den Zerleger nach der rechten Seite drehen, wenn der Polariſationsapparat auf einen Südpol ſteht, nach der linken im entgegengeſetzten Fall, um wieder ein Minimum von Lichtſtärke zu erhalten. Für eine 18^{mm} dicke Platte Faraday'ſchen Glaſes betrug dieſe Drehung 10°, für eine 48^{mm} dicke betrug ſie 21°.

Die große Intenſität der auf dieſe Weiſe über einem Pol eines Elektromagneten beobachteten Wirkung macht die erwähnte Benutzung des Nörremberg'ſchen Apparates zur Beobachtung der elektromagnetiſchen Circularpolariſation beſonders empfehlenswerth, namentlich da ſie auch unter allen Beobachtungsmethoden die bequemſte und einfachſte iſt. Wenn man nicht ſchon einen Nörremberg'ſchen Apparat beſitzt, welcher ſich bequem auf den Elektromagneten aufſetzen läßt, ſo kann man leicht einen kleinen gerade auf einen Pol des Elektromagneten paſſenden conſtruiren.

Da jedoch der Nullpunkt der Lichtſtärke bei der unvollſtändigen Polariſation, welche der untere Spiegel bewerkſtelligt, nicht mit großer Schärfe zu beſtimmen iſt, ſo bietet in dieſem Falle die Anwendung der ſchon beſprochenen doppelten Platte große Vortheile. In der That hat ſie Bertin auch bei dieſen Verſuchen angewandt.

Mit einem ſolchen Elektromagneten, wie er Fig. 497 des 2ten Bandes meines Lehrbuchs der Phyſik (3ten Auflage) abgebildet iſt, deſſen Eiſen 35^{mm} Durchmeſſer hatte, gelang es mir, nach der Bertin'ſchen Methode, nur höchſt unbedeutende Wirkungen zu erhalten. Um ſie zu verſtärken ging ich darauf aus, auch bei Anwendung des Nörremberg'ſchen Polariſationsapparates das Diamagneticum zwiſchen zwei Magnetpole zu bringen. Die Art und Weiſe wie ich dies bewerkſtelligte, iſt Fig. 259 dargeſtellt. Auf den einen Pol des Elektromagneten wird ein ei-

Fig 259.



ferner Bügel *B* aufgesetzt und durch Holzschrauben festgehalten, welche in das Brettchen *t* eingelassen sind. Gerade über der Mitte des anderen Poles endigt der Bügel *B* mit einem hohlen Eisencylinder *C*, in welchem ein eisernes Rohr *nn* von wenigstens 2‴ innerer Oeffnung und nahe 2‴ Wanddicke auf- und abgeschoben, und mittelst der Schraube *s* an jeder beliebigen Stelle festgestellt werden kann. *nn* wird so gerichtet, daß es genau auf der oberen Fläche des Diamagneticums *d* aufsitzt, welches auf dem belegten Spiegel *mm* des Nörremberg'schen Apparates steht. Mittelst dieser Vorrichtung habe ich bei Anwendung von 20 Bunsen'schen Elementen (5 vierfache) in einem 5 Centimeter hohen Säulchen von gewöhnlichem Flintglas eine Drehung der Polarisationsebene von 9° bei Umkehrung der Polarität erhalten. Die Dimensionen dieser Vorrichtung hängen natürlich von dem Apparat ab, an welchem sie angebracht werden soll.

Faraday hielt es für wahrscheinlich, daß in wässerigen Lösungen das Wasser und nicht der gelöste Stoff die drehende Substanz sey; Bertin hat dargethan, daß dies nicht der Fall ist. Zunächst fand er, daß gerade die wasserfreien Flüssigkeiten die stärkste magnetische Circularpolarisation zeigen, dann aber auch, daß es unter den gelösten Stoffen einige giebt, welche das Drehungsvermögen des Wassers vermehren, andere, welche es vermindern.

Bei einer Dicke von 1 Centimeter fand er die Drehung in einigen wasserfreien Flüssigkeiten folgendermaßen:

Zinnchlorid	7° 30′
Schwefelkohlenstoff . .	7° 0
Phosphorchlorid . . .	5°

während eine gleich dicke Wasserschichte unter denselben Umständen die Polarisationsebene nur um 2° 20′ dreht.

Den Einfluß der Verdünnung zeigen folgende Beobachtungen. Bei einer Dicke von 13 Millimeter und unter stets gleichen Umständen drehte

eine concentrirte Lösung von Chlornatrium	6° 20′
dieselbe Menge Salz in der 2fachen Wassermenge	4 55
» » » » 4 » »	4 40
» » » » 8 » »	4° 0
reines Wasser	3° 40

Mit einigen anderen concentrirten Lösungen erhielt er folgende Resultate:

Drehung einer concentrirten Lösung von			Drehung einer gleich dicken Wasserschichte unter denselben Umständen	
Chlormagnesium	6°	5′	3°	30′
Chlorzink	10	0	4	30
Chlorstrontium	5	30	4	15
Salpetersaures Ammoniak	3	45	4	55
Schwefelsaures Eisen	4	20	6°	0

Das Drehungsvermögen des Schwefelkohlenſtoffs iſt dreimal größer, als das des Waſſers, und halb ſo groß, als das des Faraday'ſchen Glaſes; dieſe Flüſſigkeit iſt deshalb ſehr geeignet, bei dieſen Verſuchen die ſeltenen Gläſer zu erſetzen.

Das Drehungsvermögen des Alkohols fand Bertin, wie ſeine Vorgänger, kleiner als das des Waſſers.

266 **Geſetz der Dicke und des Abſtandes.** Bei einer und derſelben Subſtanz ändert ſich die Stärke der Drehung mit der Dicke; allein das Geſetz dieſer Drehung iſt von verſchiedenen Experimentatoren, welche ſich mit dieſer Aufgabe beſchäftigt haben, verſchieden angegeben worden. Einige ſagen: die Drehung ſey proportional der Dicke, nach Anderen iſt dies nicht der Fall. Bertin hat das Verhältniß der Dicke zur Drehung einer genauen Prüfung unterworfen.

Betrachtet man nur die Wirkung eines Pols, ſo iſt klar, daß ſie von Schichte zu Schichte abnehmen muß, bis zu einer gewiſſen Entfernung, in welcher der Pol keine drehende Wirkung mehr ausüben kann. Da ſich die Drehungen in den einzelnen Schichten addiren, ſo iſt klar, daß, wenn man wachſende Dicken deſſelben Körpers dem Einfluß eines einzigen Pols unterwirft, die Drehungen mit der Dicke bis zu einer gewiſſen Gränze zunehmen, von welcher an eine Vermehrung der Dicke keinen merklichen Einfluß mehr ausübt.

Bringt man die Subſtanz zwiſchen zwei Pole, ſo iſt klar, daß ſich die Wirkung verdoppeln, daß aber das Geſetz derſelben bleiben muß, wobei nur noch in Betracht zu ziehen iſt, daß, wenn man die Pole ſtets mit dem Diamagneticum in Berührung erhält, man bei wachſender Dicke deſſelben die Pole ſelbſt weiter aus einander rücken muß, wobei ihre Stärke nothwendig abnimmt.

Zwiſchen den verſchiebbaren Polen eines Becquerel'ſchen Apparates beobachtete unter andern Bertin folgende zuſammengehörige Dicken und Drehungen an Waſſer:

Dicke der Schichte	Drehung
1 Centimeter	2° 0′
2 »	3 30
3 »	4 25
13 »	5 0
15 »	5 0

wodurch die oben angedeutete Anſicht gerechtfertigt erſcheint.

Um zu einem beſtimmten Geſetze zu kommen, unterſuchte Bertin zunächſt die auf ein und daſſelbe Stück eines Diamagneticums von einer Rolle des Ruhmkorff'ſchen Apparates (nach Entfernung der andern) in verſchiedenen Entfernungen hervorgebrachte Wirkung. Die folgende Tabelle enthält die Reſultate dreier in dieſer Beziehung angeſtellten Beobachtungsreihen:

1) Verſuche mit Faraday'ſchem Flintglaſe 38,9mm dick

Abſtand d. Glaſes v. dem Pol.	Beobachtete Drehung.	$\frac{y'}{y}$	Berechnete Drehung.	Unterſchied zwiſchen d. berechneten u. beob. Drehung.
0mm	11° 12′	0,9821	11° 12′	0
1	11 0	0,9470	10 56	− 4′
2	10 25	0,9712	10 44	+ 19
3	10 7	0,9719	9 57	− 10
4	9 50	0,9661	9 51	+ 1
5	9 30	0,9824	9 35	+ 5
6	9 20	0,9417	9 16	− 4
7	8 47	0,9772	9 4	− 17
8	8 35	0,9709	8 34	− 1
9	8 20	0,9508	8 22	+ 2
10	7 55		8 6	+ 11

2) Verſuche mit Faraday'ſchem Flintglaſe 38,9mm dick.

0	12° 30′	0,8934	12° 30′	0′
5	11 10	0,8582	11 4	− 6
10	9 35	0,8870	9 54	+ 19
15	8 30	0,8716	8 30	0
20	7 25	0,8876	7 31	+ 6
25	6 35	0,8735	6 33	− 2
30	5 45	0,8840	5 50	+ 5
35	5 5	0,9016	5 5	0
4	4 35	0,8728	4 31	− 4
45	4 0	0,895	4 4	+ 4
50	3 35		3 32	− 3

3) Verſuche mit Matthieſen'ſchem Flintglaſe 44mm dick.

0	7° 40′	0,8261	7° 40′	0
10	6 20	0,7895	6 1	− 19
20	5 0	0,7333	4 56	− 4
30	3 40	0,7727	3 53	+ 14
40	2 50		2 53	+ 3

Man überſieht leicht, daß, wenn man die Entfernungen in arithmetiſcher Reihe wachſen läßt, daß alsdann die entſprechenden Drehungen in geometriſcher Reihe abnehmen, denn wenn man die nächſtfolgende Drehung durch die vorhergehende dividirt, ſo erhält man ſehr nahe denſelben Quotienten, wie man aus der dritten Columne obiger Tabellen erſieht. Bezeichnen wir durch A die im Contact mit dem Pole vom Flintglaſe erzeugte Drehung, und mit Ar die von demſelben in 1 Millimeter Abſtand erzeugte, ſo iſt die Wirkung der (Ruhmkorff'ſchen) Rolle in x Millimeter Abſtand

$$y = Ar^x$$

Nach dieſer Formel ſind die Werthe in der vierten Columne der obigen Tabelle berechnet, in dem man $r = 0{,}97587$ ſetzte, was nahe zu dem Mittel aus den Quotienten der erſten Verſuchsreihe gleich iſt, während $r^5 = 0{,}88504$ und $r^{10} = 0{,}78233$ nahezu die Mittel aus den entſprechenden Quotienten der zweiten und dritten Verſuchsreihe ſind.

Man ſieht, daß die Differenzen zwiſchen den beobachteten und den berechneten Drehungen innerhalb der Beobachtungsfehler fallen, daß alſo die Verſuche das durch die Gleichung $y = Ar^x$ ausgedrückte Geſetz rechtfertigen, und zwar für alle Dicken.

Dieſe Formel wird zu einem Geſetze führen, welches die Drehung mit der Dicke verknüpft, vorausgeſetzt, daß jede einzelne Schichte eines Körpers dieſelbe Einwirkung erleidet, wie wenn ſie allein da wäre.

Um ſich davon zu überzeugen, daß dies wirklich der Fall iſt, brachte Bertin zwei Flintgläſer in Contact zwiſchen die beiden Pole in beſtimmten Lagen und beobachtete die Drehungen, die von den beiden Gläſern zuſammen und einzeln in der Anfangs angenommenen Lage ausgeübt wurden. Es ergab ſich, daß die erſtere Drehung ſtets die Summe der beiden andern iſt. Folgendes ſind einige der von Bertin in dieſer Beziehung gemachten Beobachtungen:

Flintgläſer.	Drehungen bewirkt von den Flintgläſern		Unterſchied zwiſchen der dritten Zahl und der Summe der beiden erſten.
	einzeln.	zuſammen.	
Faraday'ſches 18,3mm dick	8° 10′	25 10	— 5′
» 38,9 »	17 5		
» 38,9 »	12 15	19 32	+ 12′
Gemeines 43,5 »	7 5		

Die Wirkung eines Pols auf eine Schichte eines Körpers hängt alſo nach einem bekannten Geſetz allein von der Entfernung dieſer Schichte vom

Pole ab. (Bei dem Magnetisiren eines Eisenstabes, der in die Nähe eines Magnetpols gehalten wird, findet bekanntlich ein anderes Verhalten statt.)

Denken wir uns einen diamagnetischen Körper, welcher e Millimeter lang ist und mit der einen Endfläche einen Magnetpol berührt, in Schichten von 1^{mm} Dicke zerlegt, bezeichnen wir ferner die durch den Pol in der ersten Schichte hervorgebrachte Drehung mit c, so ist die in der zweiten cr, die in der dritten cr^2 u. s. w., die in der letzten Schichte endlich cr^{n-1}; die im ganzen Körper hervorgebrachte Drehung ist also

$$c + cr + cr^2 + cr^3 + \ldots cr^{n-1} = c\,(1 + r + r^2 + \ldots r^{n-1})$$

$$= c\,\frac{1 - r^e}{1 - r}.$$

Derselbe Körper erleidet x^{mm} weit vom Pole entfernt, die Drehung

$$y = c\,\frac{1 - r^e}{1 - r}\,r^x$$

Wenn der Körper gleichzeitig der Einwirkung der beiden Pole ausgesetzt ist, so wird die dadurch bewirkte Drehung durch die Formel

$$z = c\left(\frac{1 - r^e}{1 - r}\right)(r^x + r^{d - e - x})$$

ausgedrückt, wenn d die Entfernung der beiden Pole bezeichnet. Bertin fand die aus seiner Formel gezogenen Consequenzen durch zahlreiche Versuche bestätigt.

In dieser Formel scheint r weder von der Intensität des Magnetismus, noch von der Natur des Körpers abzuhängen; dagegen hängt c von beiden ab.

Wie c mit der Intensität des Magnetismus variirt, ist noch zu untersuchen; Bertin's Versuche zeigen aber, welches auch sonst das Gesetz seyn mag, daß der Coefficient c bei einer Veränderung der magnetischen Intensität für alle Substanzen in gleichem Verhältniß sich ändert. Mit einem Becquerel'schen Elektromagneten wurden z. B. bei verschiedener Stromstärke folgende Drehungen beobachtet:

Faraday'sches Flintglas $18{,}3^{mm}$ dick.	Schwefelkohlenstoff 10^{mm} dick.	Verhältniß der Drehungen.
7° 42′	3° 18′	0,43
13 48	6 0	0,43
19 0	8 18	0,43

Wie sich also auch die Intensität der Pole ändern mag, so bleibt das Verhältniß zwischen den Drehungen des Glases und des Schwefelkohlenstoffs doch stets dasselbe.

Bertin schlägt vor, die Größe *c* Coefficient der magnetischen Polarisation zu nennen. Setzt man diesen Coefficienten für das Faraday'sche Flintglas gleich 1, so ist er für

Gemeines Flintglas	0,53
Zinnchlorid	0,77
Schwefelkohlenstoff	0,74
Gelöstes Chlorzink	0,55
Gelöstes Chlorcalcium	0,45
Wasser	0,25
Alkohol 36° B	0,18
Aether	0,15

267 **Drehung der Polarisationsebene im Innern der Magnetisirungsspirale.** Alle die bisher besprochenen Versuche Bertin's begreifen nur die Wirkung der Elektromagnete auf äußere Körper. Als er das Flintglas in die Höhlung des einen Ruhmkorff'schen Elektromagneten hineinschob, konnte er keine Drehung der Polarisationsebene beobachten. Ein unter diesen Verhältnissen in die Höhlung hineingeschobener Eisenstab würde wohl auch nicht magnetisirt worden seyn. — Erst als der zweite Elektromagnet dem ersteren genähert wurde, konnte eine schwache Wirkung beobachtet werden. —

Die Drehung der Polorisationsebene im Innern einer Magnetisirungsspirale ohne Eisen ist nicht weiter der Gegenstand genauerer Untersuchungen und Messungen gewesen. Den vorhandenen Notizen zufolge scheint die Drehung unter diesen Umständen verhältnißmäßig weit schwächer zu seyn, als die durch Magnetpole bewirkte, wie ich denn auch die Drehung in Wasser, welches in einer messingenen Röhre von 33 Centimeter Länge eingeschlossen, in die S. 495 beschriebenen combinirten Spiralen eingeschoben, bei Anwendung eines sehr starken Stromes nur ungefähr eine Drehung von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Graden zeigte.

Ist das Diamagneticum in eisernen Röhren eingeschlossen, welche in der Magnetisirungsspirale stecken, so erscheint die Drehung der Polarisationsebene durch den Magnetismus des Eisens modificirt, doch ist das Gesetz dieser Modification noch ganz unbekannt. Faraday experimentirte mit drei eisernen Röhren, welche 27 Zoll lang waren und von denen jede $\frac{1}{8}$ Zoll Wanddicke hatte; sie konnten leicht in einander und dann in eine Magnetisirungsspirale von 26,5 Zoll Länge eingeschoben werden. Die engste wurde mit Glasenden versehen und mit Wasser gefüllt; allein

in die Spirale gebracht, wurde ein gewiſſes Drehvermögen auf den polariſirten Strahl beobachtet. — Nun wurde die zweite Röhre darüber geſchoben; jetzt hatte das Waſſer ein ſtärkeres Drehvermögen, als aber endlich noch die dritte Eiſenröhre aufgeſchoben wurde, war das Drehungsvermögen wieder ſchwächer.

In dieſe Kategorie gehören auch die zu Anfang dieſes Paragraphen angeführten Beobachtungen Bertin's. Der geſetzliche Zuſammenhang dieſer Erſcheinungen iſt, wie bereits bemerkt, erſt noch zu ermitteln.

Schließlich muß ich noch bemerken, daß es ſehr wünſchenswerth wäre, daß die Phyſiker, welche ſich mit dieſen oder ähnlichen Unterſuchungen beſchäftigen, es doch nicht verſäumen wollten, die Tangentenbuſſole in den Schließungskreis einzuſchalten, damit die Stromſtärke, mit der ſie experimentirten, genau beſtimmt werden kann.

Magnetiſcher Zuſtand aller Subſtanzen. In der dritten Auflage 268
meines Lehrbuchs der Phyſik (2ter Theil Seite 271, Näheres über die Anſtellung des Verſuchs im Anhange, Seite 687) habe ich ſchon die Grundzüge der von Faraday gemachten Entdeckung mitgetheilt, daß die Pole eines kräftigen Magneten auf alle Körper wirken, theils anziehend, theils abſtoßend; daß Körper, bei denen eine Dimenſion vorherrſchend iſt, wenn ſie ſich in horizontaler Ebene frei zwiſchen zwei Magnetpolen umdrehen können, ſich entweder axial oder äquatorial ſtellen.

Faraday behandelt dieſe wichtige Entdeckung in der 20ſten Reihe ſeiner Experimentalunterſuchungen (Phil. Trans. f. 1846, p. 21; Pogg. Ann. LXIX, 289). An das in meinem Lehrbuche bereits Mitgetheilte anſchließend, habe ich aus der Faraday'ſchen Abhandlung noch Folgendes nachzutragen.

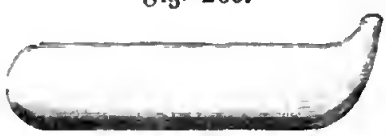
Unter den nicht metalliſchen Körpern fand Faraday mit ſeiner neuen Prüfungsmethode folgende Körper ſchwach magnetiſch: Papier, Siegellack, Tuſch, Berliner Porzellan, Seidenwurmdarm, Asbeſt, Flußſpath, Mennige, Zinnober, Bleiſuperoxyd, Zinkvitriol, Turmalin, Graphit, Schellack und Holzkohle. Dieſe Körper waren bisweilen ihrer ganzen Maſſe nach magnetiſch, bisweilen nur ein Theil derſelben.

Es iſt gleichgültig, ob der zu prüfende Körper aus einem Stücke oder ob er aus dem feinſten Pulver beſteht. Eine dünne Hülſe, mit Wismuthpulver gefüllt, ſtellt ſich eben ſo äquatorial wie ein Wismuthſtäbchen.

Um mit Flüſſigkeiten zu experimentiren, füllte ſie Faraday in Röhren von ganz dünnem Flintglas. An und für ſich ſtellt ſich Flintglas äquatorial, wenn aber die Wände der Röhre ſehr dünn ſind, ſo iſt der Effect ſehr gering, wenn man mit der Röhre allein experimentirt, während die Wirkung der gefüllten Röhre von der Art iſt, daß kein Zweifel ſeyn

kann, daß ſie von der Flüſſigkeit herrührt. Die Röhren dürfen natürlich nicht mit Wachs, Kork oder irgend einem anderen Körper verſchloſſen werden, weil dieſe Körper für ſich ſchon wirken würden. Faraday gab ſeinen Röhren die Geſtalt Fig. 260, die kleine Oeffnung auf der einen Seite, durch welche die Flüſſigkeit eingefüllt wird, bleibt offen.

Fig. 260.



Das ſchwere Glas ſtellt ſich auch noch zwiſchen den Polen eines guten Stahlmagneten äquatorial, wenn auch mit ungleich geringerer Kraft als bei einem Elektromagneten. Schraubendrähte ohne Eiſenkerne brachten eine ſolche Wirkung nicht hervor.

Folgendes iſt die Liſte der nicht metalliſchen Subſtanzen, welche Faraday mehr oder weniger ſtark diamagnetiſch fand: Schweres Glas, borſaures Bleioxyd, Flintglas, Krownglas, Bergkryſtall, ſchwefelſaurer Kalk, ſchwefelſaurer Baryt, Glauberſalz, ſchwefelſaures Kali, ſchwefelſaure Magneſia, Alaun, Salmiak, Chlorblei, Chlornatrium, Salpeter, ſalpeterſaures Bleioxyd, Soda, Kalkſpath, Bleizucker, Brechweinſtein, Seignettenſalz, Weinſteinſäure, Citronenſäure, Waſſer, Alkohol, Aether, Salpeterſäure, Schwefelſäure, Salzſäure, Auflöſungen verſchiedener Salze der Alkalien und Erden, Glas, Bleiglätte, arſenige Säure, Jod, Phosphor, Schwefel, Harz, Wallrath, Olivenöl, Terpentinöl, Kautſchuck, Zucker, Stärke, Gummi, Holz, Elfenbein, getrocknetes Hammelfleiſch, friſches Rindfleiſch, Blut, Leder, Aepfel, Brod u. ſ. w.

Faraday bemerkt hierzu: »Es iſt ſonderbar, eine Liſte von Körpern »wie dieſe zu ſehen, welche ſämmtlich die merkwürdige Eigenſchaft zeigen, »und ſeltſam macht es ſich, daß Holz, Fleiſch oder ein Apfel dem Magnet »gehorcht oder von ihm abgeſtoßen wird. Wenn ein Menſch nach Du»fay'ſcher Weiſe mit hinlänglicher Empfindlichkeit aufgehängt und in »das magnetiſche Feld gebracht werden könnte, würde er ſich äquatorial »richten; denn alle Subſtanzen, aus denen er gebildet iſt, mit Einſchluß »des Blutes, beſitzen dieſe Eigenſchaft.«

Da ſich bis dahin kein Zuſammenhang zwiſchen dem Verhalten der Körper gegen Magnetpole mit Leitung oder Nichtleitung, Durchſichtigkeit oder Undurchſichtigkeit, Starrheit oder Flüſſigkeit, kryſtalliniſchem oder amorphem Zuſtand, Ganzheit oder Zerſtückelung gezeigt hatte, ſo war es, ſagt Faraday, von hohem Intereſſe, zu erfahren, ob die Metalle ſich dieſem allgemeinen Verhalten anſchließen oder von ihnen abſondern würden.

Das zu prüfende Metall wurde in Form eines Stäbchens zwiſchen die Pole des Elektromagneten gebracht. Als magnetiſch betrachtet Fa-

raday diejenigen, die sich axial stellen, während diejenigen, welche die äquatoriale Lage annehmen, als diamagnetisch bezeichnet sind. Folgendes sind die Metalle, welche Faraday diamagnetisch fand, und zwar nach der Stärke des Diamagnetismus geordnet: Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Kadmium, Quecksilber, Silber, Kupfer.

Außer den bekannten magnetischen Metallen; Eisen, Nickel und Kobalt nehmen noch Platin, Palladium und Titan die axiale Stellung an.

Wenn der cylindrische Elektromagnet vertical gestellt ist, so bildet jeder Pol eine horizontale kreisrunde Fläche. Hängt man ein Wismuthkügelchen gerade über den Mittelpunkt eines Poles, so zeigt sich keinerlei Abstoßung; führt man die Kugel gegen den Rand des Poles hin, so wird sie nach Innen abgelenkt; genau über dem Rande des Pols zeigt sich wiederum keine Bewegung, über denselben hinaus geführt, macht sich aber eine nach Außen gerichtete Abstoßung geltend. Es erklärt sich dies dadurch, daß gerade von der Kante des Poles die kräftigste magnetische Wirkung ausgeübt wird.

Bestreut man ein auf den horizontalen Pol gelegtes Stück Papier mit fein gepulvertem Wismuth, so zieht es sich, wenn der Elektromagnet in Thätigkeit ist, von der Kante des Eisenkernes zurück, eine kreisrunde Linie bloßlegend; ist aber der Elektromagnet nicht in Thätigkeit, so kann man das Papier betupfen, ohne daß sich etwas der Art zeigt.

Das Wismuth wird gut gerichtet und abgestoßen, wenn es in Wasser, Alkohol, Aether u. s. w. eingetaucht, auch wenn es in Gefäße von Steingut, Glas, Kupfer, Blei u. s. w. eingeschlossen oder durch Schirme von Wismuth, Kupfer oder Blei geschützt ist. Selbst innerhalb eines eisernen Gefäßes aufgehängt, wird es gut und frei von dem Magnetpol abgestoßen.

Zuerst wurde die Abstoßung des Wismuths durch Magnetpole von Brugmans im Jahre 1778 beobachtet; Le Baillif fand sie 1827 und hielt sie für neu.

Faraday erwähnt diese älteren Beobachtungen, die aber ihrer Zeit als isolirt stehende Erscheinungen wenig Beachtung fanden; erst durch seine Forschungen ist dies Verhalten gegen die Magnetpole als eine Eigenschaft aller nicht magnetischen Körper erkannt und dadurch ein neues Feld für die Elektricitätslehre gewonnen worden.

Nachdem Faraday die normalen Erscheinungen beschrieben hat, welche an Stäbchen diamagnetischer Körper beobachtet worden, geht er zur Betrachtung einiger anomalen Erscheinungen über, die er vorzugsweise an Kupferstäbchen beobachtete. Weil uns bis jetzt noch der Schlüssel zur vollen Erkenntniß dieser Eigenthümlichkeiten fehlt, so dürfte es auch

am zweckmäßigſten ſeyn, nur das Weſentlichſte der Erſcheinung, und zwar mit Faraday's eigenen Worten, anzuführen.

»Hängt ein Kupferſtab zwiſchen den Polen und entwickelt man deren »Kraft in dem Moment, da er eine ſchiefe Lage zwiſchen der axialen und »äquatorialen Linie beſitzt, ſo geht er auf die axiale Lage zu, wie wenn er »magnetiſch wäre, er ſetzt jedoch ſeine Bewegung nicht bis zur Ankunft in »jene Lage fort, ſondern hält raſch ein, und kommt, ohne eine Schwin»gung zu machen, alsbald zu einer todten Ruhe; dies geſchieht ſelbſt, wenn »der Stab vermöge der Torſion oder einer andern Urſache ſich von hier »mit einer Kraft bewegte, die ihn mehrmals im Kreiſe herum gedreht »hätte. — —

»Die Lage, welche der Stab angenommen hat, behauptet er mit einem »bedeutenden Grad von Hartnäckigkeit, ſo lange die Magnetkraft unter»halten wird. Wird er aus ihr abgelenkt, ſo kehrt er nicht in dieſelbe »zurück, ſondern nimmt die neue Stellung in derſelben Weiſe ein und be»harrt in derſelben eben ſo feſt. Ein Stoß, welcher den Stab, wenn kein »Magnetismus vorhanden wäre, mehrmals im Kreiſe herumdrehen würde, »bewegt ihn nur um 20° bis 30°. — — — Die vom Stab angenommene »Lage kann eine jegliche ſeyn. — — —

»Wenn der elektriſche Strom unterbrochen wird, nachdem der Magne»tismus zwei bis drei Secunden unterhalten worden war, ſo erfolgt au»genblicklich eine ſtarke Wirkung auf den Stab, welche wie ein Rückſtoß »ausſieht (denn der Stab geht zurück in der Bewegung, welche er beim »Schließen der Kette auf einen Moment annahm), allein mit ſolcher Ge»walt, daß wenn er vielleicht 15° bis 20° vorgerückt iſt, der Rückſprung »manchmal zwei bis drei ganze Umdrehungen beträgt. —

»Dieſelbe Trägheit findet ſich auch bei einem Würfel und bei einer Ku»gel von Kupfer, allein die Erſcheinungen der erſten Drehung und des »Rückſprungs hören auf. — — —

»Andere Metalle zeigen dieſe Erſcheinungen auch, aber um ſo ſchwächer, »je weniger gut leitend ſie ſind. Wismuth und ſchweres Glas zeigen nichts »der Art.«

Faraday verſucht nun dieſe Erſcheinungen auf die Bildung von Inductionsſtrömen zurückzuführen, welche im Kupfer entſtehen, einestheils durch ſeine Bewegung zwiſchen den Magnetpolen, anderntheils, daß nach Schließung der Kette der Magnetismus des Eiſens einige Zeit braucht, um bis zu ſeinem Maximum zu wachſen und nach Aufhören des galvaniſchen Stromes zu verſchwinden. Klar iſt, daß eine Kupfermaſſe, welche zwiſchen zwei Magnetpolen oscillirt, in Folge der dabei auftretenden Inductionsſtröme ſehr bald zur Ruhe kommen muß, wie ja auch eine Magnetnadel über einer Kupferſcheibe bald zur Ruhe kommt. Dieſer die

Bewegung hemmende Einfluß kann aber durchaus nichts änderen in der Richtung, welche die Kupferſtange einzunehmen hat, ſo wenig wie durch die in der Kupferſcheibe inducirten Ströme die Magnetnadel gehindert wird, ſich in den magnetiſchen Meridian einzuſtellen. Wie aber Faraday durch die beim Schließen der Kette im Kupferſtäbchen inducirten Ströme die kurze Bewegung gegen die axiale Lage hin erklären will, iſt mir wenigſtens aus ſeiner Auseinanderſetzung nicht klar geworden; auch ſehe ich nicht recht ein, auf welche Thatſachen geſtützt Faraday das Kupfer in die Reihe der diamagnetiſchen Metalle ſetzt.

Gehen wir nun zur einundzwanzigſten Reihe von Faraday's Experimentalunterſuchungen über (Phil. transact. f. 1846, p. 41; Pogg. Ann. LXX. 24).

Ein glühender Eiſendraht ſtellt ſich zwiſchen den Polen des Elektromagneten noch axial, doch iſt die richtende Kraft ſehr ſchwach. Beim Abkühlen wurde keine allmälige Zunahme der magnetiſchen Kraft bemerkt, bis die Temperatur zu einem gewiſſen Punkt gelangt; das Eiſen erlangte nun raſch, obwohl nicht inſtantan, ſeine hohe Magnetkraft und flog dann einem Pole zu.

Wie das Eiſen, ſo wird auch das Nickel bei ſteigender Temperatur indifferent gegen gewöhnliche Magnete, und zwar ſchon bei der Temperatur des ſiedenden Oels; zwiſchen den Polen des Elektromagneten wurde es aber noch axial geſtellt, wenn auch mit geringer Kraft, wie hoch auch die Temperatur ſtieg. Bei ſorgfältiger Senkung der Temperatur des Nickels ergab ſich, daß auch ſeine Magnetkraft allmälig zunahm.

Eiſenoxyde, Nickel- und Kobaltoxyd zeigten ſich magnetiſch, und zwar ſowohl kalt als warm.

Zu den Eiſenſalzen übergehend, fand Faraday auch dieſe magnetiſch, d. h. ſie ſtellten ſich axial. Es zeigte ſich magnetiſch: das Chlorür, Chlorid, Oxydulſulphat, Oxydſulphat, Nitrat u. ſ. w., von Eiſen eben ſo Berlinerblau; unter den natürlichen Eiſenverbindungen waren es Sumpferz, Blutſtein, Chromeiſenſtein, Schwefelkies u. ſ. w.

Grünes Bouteillenglas iſt wegen ſeines Eiſengehaltes ſehr ſtark magnetiſch. — Kryſtalle von gelbem und rothem Blutlaugenſalz hingegen ſtellten ſich äquatorial.

Auch die Löſungen der oben genannten Eiſenſalze ſtellen ſich, in Glasröhren gefüllt, axial.

Kryſtalle von ſchwefelſaurem Nickeloxyd und ſchwefelſaurem Kobaltoxyd wurden eben ſo wie ihre Löſungen magnetiſch gefunden; eben ſo die Löſung von Nickelchlorid und Kobaltchlorid.

Die Löſungen von Salzen diamagnetiſcher Metalle zeigten ſich nicht magnetiſch.

Es wurden drei Löſungen von Eiſenvitriol vorgerichtet, von denen die erſte 16 Procent, die zweite 4 Procent, die dritte endlich 1 Procent Salz enthielt. In Glasröhren gefüllt, ſtellten ſich alle drei Löſungen axial, wenn auch die richtende Kraft mit der Concentration der Löſung abnahm. Wurde zwiſchen die Magnetpole ein Gefäß mit Waſſer oder Alkohol gebracht und dann die Röhre mit der Vitriollöſung in dieſe Flüſſigkeiten hineingeſenkt, ſo ſtellte ſie ſich axial, wie in Luft; enthielt aber das Gefäß auch eine Löſung von Eiſenvitriol, ſo ſtellte ſich die Röhre nur dann axial, wenn die Löſung in der Röhre concentrirter war als die ſie umgebende. Eine Röhre mit der Löſung Nr. 2 ſtellte ſich axial in der Löſung Nr. 3, äquatorial in Nr. 1; in Nr. 2 war ſie indifferent; Nr. 3 ſtellt ſich in den beiden anderen Löſungen äquatorial, Nr. 1 ſtellt ſich axial in Nr. 2 und Nr. 3.

Gleiche Reſultate gaben Löſungen anderer Eiſenſalze.

Da die magnetiſchen Metalle, Eiſen, Nickel und Kobalt, in ihren Verbindungen ebenfalls Subſtanzen von magnetiſchen Eigenſchaften darſtellen, ſo ſchien es ſehr wahrſcheinlich, daß andere Metalle, hinſichtlich deren magnetiſchen Charakters, wegen eines möglichen Eiſengehaltes der unterſuchten Proben, Zweifel obwalten, auf dieſe Weiſe, nämlich durch Prüfung ihrer Verbindungen, in Bezug auf ihren magnetiſchen Charakter geprüft werden könnten.

Wollaſton hat die magnetiſchen Wirkungen des Titans beſchrieben und in der That ſtellte ſich auch reines Titanoxyd axial.

Mangan iſt, nach Berthier's Angaben, bei ſehr niedrigen Temperaturen magnetiſch. Faraday fand, daß ſich Manganoxyd, Manganoxydul und gereinigte Manganſalze, letztere ſowohl als Kryſtalle als in Löſung axial ſtellten.

Chromoxyd und Chromoxydul ſtellen ſich axial, aber die Löſungen von chromſaurem und doppeltchromſaurem Kali zeigen ſich diamagnetiſch, wohl deshalb, weil die diamagnetiſche Wirkung der Körper vorwiegt, mit welchen das ſchwach magnetiſche Chrom verbunden iſt

Platinchlorid, ſowohl trocken als in Löſung, ſtellte ſich äquatorial, Platinſchwamm aber axial.

Auf ähnliche Weiſe unterſuchte Faraday noch viele Metalle und ſtellt ſie nach ihrem magnetiſchen Verhalten geordnet in folgender Weiſe zuſammen:

Magnetiſch	Diamagnetiſch
	Wismuth
	Antimon
	Zink
	Zinn
	Kadmium
	Natrium
Eiſen	Queckſilber
Nickel	Blei
Kobalt	Silber
Mangan	Kupfer
Chrom	Gold
Cer	Arſen
Titan	Uran
Palladium	Rhodium
Platin	Iridium
Osmium	Wolfram.
0	

Als Nullpunkt iſt derjenige Zuſtand angenommen, wo ein Metall oder eine Subſtanz, was Anziehung oder Abſtoßung betrifft, ſich indifferent verhält. Je weiter eine Subſtanz von dieſem Punkt geſtellt iſt, deſto entſchiedener tritt ſeine Anziehung oder Abſtoßung gegen den Magneten hervor. Bei genauerer Prüfung wird die obige Ordnung der Metalle wohl noch Modificationen erfahren.

Faraday experimentirte nun mit Gaſen. Er fand, daß ſie ſich durchaus neutral verhalten.

Eine dünne Glasröhre verhält ſich zwiſchen den Polen eines Elektromagneten ganz gleich, mag ſie nun Luft, ein anderes Gas oder einen Dampf enthalten, mag das Gas verdichtet oder verdünnt ſeyn, ſo weit man mit Hülfe einer Luftpumpe evacuiren kann. Die Wirkung iſt lediglich durch den Einfluß der Magnetpole auf die Glaswand beſtimmt; der gasförmige Inhalt der Röhre ändert nichts. — Eben ſo verhalten ſich andere aufgehängte Körper zwiſchen den Polen des Elektromagneten ganz auf gleiche Weiſe, mögen ſie nun von Luft oder einem andern Gas oder vom Vacuum umgeben ſeyn.

Faraday ſchloß daraus, daß die Gaſe vielleicht in der Mitte zwiſchen den magnetiſchen und diamagnetiſchen Körpern ſtehen, was jedoch, wie wir alsbald ſehen werden, nicht der Fall iſt; ihr neutrales Verhalten in dem eben betrachteten Falle erklärt ſich, wie Faraday bemerkt, auch dadurch, daß die Gaſe zu wenig dicht ſind, um den Einfluß der in

dem Verſuch gleichzeitig zur Wirkung kommenden feſten Körper zu modificiren.

269 **Theorie des Diamagnetismus.** Den Schluß der 21ſten Reihe von Experimentalunterſuchungen bildet eine Reihe von Betrachtungen über die beſprochenen Phänomene. Das Verhalten der diamagnetiſchen Körper gegen Magnetpole ließe ſich wohl, wie Faraday bemerkt, durch die Annahme erklären, daß in einem ſolchen Körper, alſo z. B. in einem Wismuthſtäbchen, durch die Nähe eines Magnetpols Ströme erzeugt werden, welche den Ampère'ſchen Strömen des Magneten entgegengeſetzt ſind, ſo daß gleichnamige Pole einander gegenüber zu ſtehen kämen, während in magnetiſchen Metallen mit dem Magneten gleichgerichtete Ströme gebildet werden, ſo daß ſich ungleichnamige Pole einander gegenüberſtehen. Dies würde den Strömen in diamagnetiſchen Körpern gleiche Richtung geben mit denen, welche zu Anfang des inducirenden Stromes in benachbarten Leitern inducirt werden, und in den magnetiſchen Körpern gleiche mit denen, welche beim Aufhören deſſelben inducirenden Stromes entſtehen. Faraday hat dieſe Anſicht aber weder ausgebildet noch feſtgehalten, ſondern gegen die von einer indifferenten Repulſion vertauſcht, hauptſächlich deshalb, weil man an zwei Wismuthſtäben, welche gleichzeitig dem Einfluß eines kräftigen Magneten ausgeſetzt ſind, bisher keine gegenſeitige Einwirkung wahrgenommen hat.

Welche von dieſen beiden Anſichten die richtige ſey, kam zunächſt durch Reich's Verſuche zur Entſcheidung.

Um über die Abſtoßung diamagnetiſcher Körper durch Magnetpole Verſuche anzuſtellen, wandte Reich eine zur Beſtimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde hergerichtete Drehwage an (Bericht über die Verhandlungen der k. ſächſiſchen Geſellſchaft der Wiſſenſchaften, Sitzung vom 18ten Mai 1847; Pogg. Ann. LXXIII. 60). An einem ſtarken eiſernen an einer maſſiven Mauer befeſtigten Arme hängt mittelſt eines Kupferdrahtes ein horizontaler hölzerner Arm von 2 Meter Länge, und an jedem Ende deſſelben mittelſt feiner Metalldrähte einer Metallkugel; das Ganze iſt in einem hölzernen Gehäuſe eingeſchloſſen, welches aber nirgends mit der Drehwage in Berührung iſt. Der Arm trägt einen Spiegel, in welchem mit einem Fernrohre an einer entfernten Scala die Stellung des Armes beobachtet wird.

Die anhängenden Kugeln beſtanden aus Zinn mit 10 Procent Wismuth und etwa 2 Procent Blei. Als von der Seite her einer Kugel der Pol eines Magneten genähert wurde, entſtand eine deutliche Abſtoßung. Ein ſolcher Verſuch gab z. B. folgende Reſultate. Der Arm ſtand auf 41,5 der Scala. Als nun der Nordpol eines vierpfündigen Magnetſtabes ge-

nähert wurde, brachte er den Arm auf 53,14; der Südpol brachte ihn auf 54,05. Nach entferntem Magnet ſtellte ſich der Arm wieder auf 42,80. Nimmt man aus der erſten und letzten Ruhelage bei entferntem Magnete das Mittel, ſo ergiebt ſich:

Abſtoßung durch den Nordpol . . 11,445 Scalentheile
» » » Südpol . . 13,300 »

Die Differenz mag in einer unſymmetriſchen Vertheilung des Magnetismus im Magnetſtabe ihren Grund haben.

Wäre dieſe Abſtoßung eine indifferente, ſo müßten ein Nordpol und ein Südpol, von derſelben Seite her einer diamagnetiſchen Kugel genähert, ihre Wirkungen gegenſeitig verſtärken; iſt aber die Abſtoßung die Folge einer magnetiſchen Vertheilung im Sinne der früheren Faraday'ſchen Anſicht, ſo müſſen ſich die Wirkungen zweier gleichen von derſelben Seite her genäherten ungleicharmigen Pole gegenſeitig aufheben.

Reich ſtellte den Verſuch wirklich an, er näherte der Kugel von derſelben Seite her mehrere Magnetſtäbe und zwar zur Hälfte mit dem Nordpol, zur Hälfte mit dem Südpol; auf dieſe Weiſe war gar keine oder nur eine unbedeutende von der Ungleichheit der angewandten Magnete herrührende Wirkung wahrzunehmen, woraus hervorgeht, daß die Wirkung der Nordpole die Wirkung der Südpole aufhebt.

Die Zinnkugeln wurden mit Kugeln von Wismuth vertauſcht und dann die Stärke der Abſtoßung für verſchiedene Entfernungen zwiſchen der Kugel und dem Magnetpole gemeſſen; Reich folgert aus dieſen Verſuchen, daß:

1) die abſtoßende Wirkung vorzugsweiſe auf die zugewendete Oberfläche des diamagnetiſchen Körpers ſtattfinde, und

2) daß dieſe Abſtoßung abnehme, wie die dritte Potenz der Entfernung des Magnetpols zunimmt.

Nachdem Reich durch ſeine Verſuche dargethan hatte, daß die diamagnetiſche Abſtoßung des Wismuths die Folge einer durch den Magnetpol im Diamagneticum hervorgerufenen Polarität iſt, unternahm es Weber, die Natur derſelben näher zu ermitteln, wobei ihm die bereits angeführte erſte Vorſtellung Faraday's von dem Weſen des Diamagnetismus zum Ausgangspunkt diente.

Wenn in einem diamagnetiſchen Körper durch die Nähe eines Magnetpols wirklich eine Polarität hervorgerufen wird, welche mit der des wirkſamen Magnetpols gleichnamig iſt, ſo müſſen, ſchloß Weber, die diamagnetiſchen Pole unter Umſtänden auch anziehend auf einen Magnetpol wirken können. Zu dieſem Zweck darf man aber nicht diejenige Kraft beobachten, welche das diamagnetiſche Wismuth auf denjenigen Magnet-

pol ausübt, von welchem es ſelbſt diamagnetiſirt worden iſt, ſondern man muß ſolche Kräfte beobachten, welche jenes Wismuth auf andere Magnetpole in der Ferne ausübt, welche keinen Einfluß auf ſeinen diamagnetiſchen Zuſtand haben.

Weber hat dieſen Fall auf folgende Weiſe verwirklicht. Es ſei ns, Fig. 261, eine kleine Magnetnadel, welche an einem Coconfaden aufgehängt iſt; ein Wismuthſtäbchen w nun, welches ſich in einer Ebene befindet, welche die Magnetnadel rechtwinklig halbirt, wird nach Reich's Erfahrung für ſich keinerlei Ablenkung auf die Magnetnadel ausüben können. Wird nun ein Elektromagnet ſo aufgeſtellt, daß w gerade in die Mitte zwiſchen die beiden Pole a und b deſſelben zu liegen kommt, und dann das Wismuthſtäbchen entfernt, ſo wird der Elektromagnet die Magnetnadel allerdings kräftig ablenken, man kann aber dieſe Einwirkung dadurch wieder neutraliſiren, daß man einen Magnetſtab M in entſprechender Lage und Entfernung auf der andern Seite der Magnetnadel anbringt.

Fig. 261.

Bringt man nun nach dieſen Vorbereitungen daſſelbe Stück Wismuth, welches vorher auf die Nadel gar nicht wirkte, an die nämliche Stelle wie früher, d. h. zwiſchen die beiden Pole des Elektromagneten, ſo zeigt ſich nun eine ſehr wahrnehmbare und meßbare Wirkung, nämlich eine Ablenkung der Nadel in Folge davon, daß der eine Pol abgeſtoßen, der andere angezogen wird.

Kehrt man die Pole der Magnete (ab und M), deren Wirkungen auf die Nadel ſich compenſiren, um und wiederholt man dann den Verſuch, ſo findet man, daß das nämliche Stück Wismuth, an die nämliche Stelle und in die nämliche Lage gebracht, jetzt gerade die entgegengeſetzte Ablenkung hervorbringt.

Vertauſcht man das Stück Wismuth mit Eiſen, ſo findet man, daß die vom Eiſen hervorgebrachte Ablenkung ſtets die entgegengeſetzte von der iſt, welche das Wismuth unter denſelben Verhältniſſen bewirkt.

Nähert man einem Magnetpol einen Leiter, ſo werden in demſelben nach den bekannten Geſetzen der Induction Ströme gebildet, welche den Ampère'ſchen Strömen des Magneten entgegengeſetzt ſind; wird z. B. ein Kupferſtäbchen dem Nordpol eines Magneten genähert, ſo wird das dem Magneten zugekehrte Ende des Kupferſtücks durch dieſe inducirten Ströme, wenn auch nur vorübergehend, ſelbſt zu einem Nordpol; Gleiches wird nun auch in einem Wismuthſtäbchen der Fall ſeyn, wie es Weber auch durch den Verſuch gezeigt hat.

Auf den oberen Pol eines kräftigen, ſtabförmigen Elektromagneten wurde eine Drahtrolle gelegt, welche bei 140^{mm} Länge eine innere Höhlung von 15^{mm} Durchmeſſer hatte; ihre Enden waren mit einem empfindlichen Multiplicator verbunden. War nun der Elektromagnet in Thätigkeit, ſo zeigte die Ablenkung des Multiplicators, daß ein Wismuthſtab beim Einſchieben in die Inductionsrolle, alſo während der Annäherung gegen den Magnetpol, eine der obigen Auseinanderſetzung entſprechende Polarität annimmt.

Durch Annäherung gegen einen Magnetpol wird alſo ein Wismuthſtab durch Induction in einen polaren Zuſtand verſetzt, welcher demjenigen ganz gleich iſt, welchen wir zur Erklärung der diamagnetiſchen Erſcheinungen annehmen müſſen. Bekanntlich ſind aber die Ströme, welche in der Maſſe eines Leiters inducirt werden, wenn er einem Magnetpole genähert wird, nur vorübergehend, ſie verſchwinden alsbald, wenn der Leiter ruhig in ſeiner Stellung gegen den Magneten verbleibt; um alſo die Erſcheinungen des Diamagnetismus zu erklären, kommt es darauf an, zu zeigen, wie es möglich iſt, daß dieſer bei der Annäherung gegen den Magnetpol hervorgerufene Zuſtand ein bleibender ſeyn kann, ſo lange ſich der Leiter dem Magnetpol gegenüber befindet.

Wären in dem Wismuth magnetiſche Fluida vorhanden, wie im Eiſen, oder wäre, was auf daſſelbe hinauskommt, jedes Wismuthmolekül ſchon von einem continuirlichen Strome umkreiſt, wie wir uns die Ampère'ſchen Ströme um die Eiſenmolekûle denken, ſo könnte die Einwirkung eines Magnetpols durchaus keine andere Wirkung hervorbringen, als wie beim Eiſen auch, d. h. er müßte die Fluida in der bekannten Weiſe ſcheiden oder er müßte die ſchon vorhandenen Molekularſtröme denen des einwirkenden Magnetpoles parallel ſtellen, kurz, auf ſchon vorhandene, durch den Magneten erſt zu richtende Molekularſtröme laſſen ſich alſo die Erſcheinungen des Diamagnetismus nicht zurückführen.

Die Ströme, welche dem diamagnetiſchen Körper ſeine Polarität ertheilen, müſſen alſo erſt bei der Annäherung gegen einen Magnetpol, oder dadurch, daß der Magnetismus in demſelben entſteht, gebildet werden, ſie dürfen aber nicht vorübergehend ſeyn, wie die gewöhnlichen in der Maſſe von Leitern inducirten Ströme, ſondern ſie müſſen beharrlich ſeyn, ſie müſſen ſo lange andauern, als der diamagnetiſche Körper dem Magnetpole gegenüber bleibt.

Dies iſt nun durch die Annahme zu erklären möglich, daß in dem diamagnetiſchen Körper Molekularſtröme inducirt werden, d. h. Ströme, welche die einzelnen Molekûle des diamagnetiſchen Körpers umkreiſen, ſich aber nicht in der Maſſe derſelben, von einem Molekül zum andern fortſchreitend, bewegen.

Der Unterſchied zwiſchen Strömen, welche durch Leiter in größeren Kreiſen ſich bewegen, und den Molekularſtrömen beſteht nur darin, daß die ſtrömende Elektricität der erſteren beim Vorübergehen an den Molekülen des Leiters einen mehr oder minder bedeutenden (Leitungs-) Widerſtand zu überwinden hat, wodurch ihre lebendige Kraft ſo ſchnell entzogen wird, daß ſie in einer unmeßbar kleinen Zeit zur Ruhe gelangen muß, wenn ihr der erlittene Verluſt nicht durch fortdauernde elektromagnetiſche Kräfte immer wieder erſetzt wird. Das Gegentheil gilt von den Molekularſtrömen, welche nicht durch den Leiter von Molekül zu Molekül fortgehen, ſondern ſich um ein einziges Molekül herumbewegen, für die alſo jener Grund der Entziehung der lebendigen Kraft wegfällt. Dieſe Ströme beharren alſo ohne elektromotoriſche Kraft in gleicher Intenſität.

Wirkt nun eine inducirende Kraft auf einen Körper, ſo können dadurch zweierlei Ströme gebildet werden, die gewöhnlichen Inductionsſtröme, welche ſich durch die Maſſe des Körpers bewegen und mit den inducirenden Kraft verſchwinden, und inducirte Molekularſtröme, welche auf ihrem Wege um die Moleküle herum keinen Widerſtand finden und ungeſchwächt fortdauern müſſen, bis in Folge einer neuen entgegengeſetzten Induction neue entgegengeſetzte Molekularſtröme hinzukommen, welche die ältern aufheben.

Nach der Weber'ſchen Theorie des Diamagnetismus ſind alſo die hierher gehörigen Erſcheinungen durch Molekularſtröme zu erklären, welche in dem Diamagneticum durch Annäherung gegen einen Magnetpol oder dadurch inducirt werden, daß in einem benachbarten Pole der Magnetismus entſteht, und welche ſo lange fortdauern, bis das Verſchwinden des Magnetismus in dem Magnetpole oder die Entfernung des Diamagneticums von demſelben eine entgegengeſetzte Induction bewirkt und dadurch die Wirkung der früheren aufhebt.

Die in größeren Kreiſen ſich bewegenden Inductionsſtröme können ſich in Iſolatoren nicht bilden, inducirte Molekularſtröme ſind aber in ihnen wohl möglich, da ja auch Nichtleiter, z. B. ſchweres Glas, von den Magnetpolen abgeſtoßen werden und ſich äquatorial ſtellen.

Auch Poggendorff hat zwei Methoden angegeben, um die diamagnetiſche Polarität nachzuweiſen (Pogg. Annalen LXXIII, 475). Das erſte Verfahren beſteht darin, daß man einem Wismuthſtäbchen, während es neben dem einen Pol, z. B. dem Nordpol, eines kräftigen Elektromagneten an einem Coconfaden in äquatorialer Lage hängt, von derſelben Seite her den Südpol eines kleinen Stahlmagneten nähert. Bei einiger, ſich leicht ergebender Vorſicht kann man dann deutlich ſehen, daß die dem elektromagnetiſchen Pol zugewendete Seite des Stäbchens vom Stahlmagnet angezogen wird.

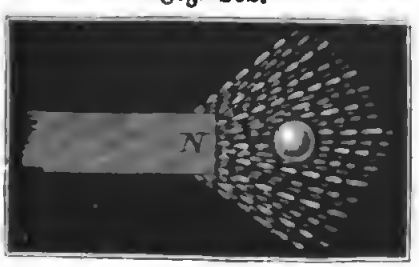
Noch überzeugender ist das zweite Verfahren, welches von dem ersten darin abweicht, daß man den Stahlmagneten durch einen galvanischen Strom ersetzt. Das Wismuthstäbchen wird zu dem Ende zwischen beiden Polen des Elektromagneten aufgehängt und zwar innerhalb eines Drahtgewindes, dessen Windungen das Stäbchen bei seiner äquatorialen Stellung rechtwinklig umgeben würden. Ein Strom, welcher durch die Spirale geht, wirkt nicht auf das Wismuthstäbchen, so lange der Elektromagnet nicht in Thätigkeit ist. Wenn aber der Elektromagnet in Wirksamkeit gesetzt und das Wismuthstäbchen dadurch in die äquatoriale Lage gebracht worden ist, kann man es aus dieser Lage ablenken, sobald man einen Strom durch die Spirale gehen läßt, und zwar rechts oder links, je nach der Richtung des Stroms und zwar immer in dem Sinn, wie die Ablenkung erfolgen muß, wenn die Seiten des Stabes gleiche Polarität mit den ihnen zugewandten Magnetpolen besitzen.

Hankel hat ebenfalls versucht, eine Theorie des Diamagnetismus zu construiren. Der Grundgedanken dieser Theorie spricht er in folgenden Worten aus (Pogg. Ann. LXXV, 112):

»Das Licht und die strahlende Wärme wirken durch die verschiedenen »Körper hindurch, durchdringen sie aber niemals ohne Verlust, der theils »an ihrer Oberfläche, theils in ihrem Inneren stattfindet. Sollte die »magnetische Kraft allein ganz ungehindert durch die verschiedenartigen »Substanzen hindurchdringen? Wenn dem nicht so ist, so werden die von »diesen ausgehenden magnetischen Kraftlinien, sobald sie eine in ihrer »Bahn beliebig gelegene Substanz durchdringen wollen, einen Widerstand »finden, den ich mit einer Reibung vergleichen möchte. Durch diesen Wi»derstand wird ein Theil der magnetischen Kraftlinie aufgehalten oder ver»nichtet. Der von dem eingeschalteten Körper erzeugte Widerstand wird »nun an die Masse desselben übertragen werden und ein leicht beweglich »aufgehangener Körper muß in Folge dessen eine Richtung annehmen, in »welche die von zwei oder mehreren Magnetpolen ausgehenden Kraftlinien »sich hinsichtlich dieses Widerstandes oder der dadurch übertragenen Kräfte »im Gleichgewichte finden.«

»Das Vorstehende wird sogleich deutlicher werden, sobald wir einige spe»cielle Fälle betrachten.«

Fig. 262.



»Es sei *N* Fig. 262 der Nordpol »eines Magneten; dann werden die »magnetischen Kraftlinien etwa die »durch die kleinen Striche angedeutete »Richtung haben. Eine vor dem »Magnetpole an einem langen Cocon»faden aufgehangene kleine Wismuth=

»kugel wird von dem Pole *N* abgestoßen werden, weil die magneti»schen Kraftlinien beim Durchgange durch die Kugel auf Hindernisse sto»ßen. Durch diese, gewissermaßen als Reibung zu bezeichnende Wirkung »wird die Kugel von den Stellen der stärkeren Wirkung zu den Stellen »der schwächeren Wirkung übergeführt, bis dieser äußerlich als Abstoßung »erscheinenden Kraft durch das Gewicht der Wismuthkugel das Gleichge»wicht gehalten wird. Ein Gleiches erfolgt auch, wenn der angewandte »Pol ein Südpol ist.«

Hankel wendet nun seine Theorie auf die verschiedenen diamagnetischen Erscheinungen an. Die Beobachtung Reich's, daß eine Wismuthkugel nicht abgestoßen wird, wenn von derselben Seite her ein Nord- und ein Südpol von gleicher Stärke genähert wird, erklärt er dadurch, daß für diesen Fall die Magnetkraftlinie die in Fig. 263 dargestellte Lage habe.

Fig. 263.

Zugegeben, daß Hankel's Theorie alle Erscheinungen des Diamagnetismus ebenso gut zu erklären im Stande sey, wie die von Weber aufgestellte, so läßt sich doch das Bedenken nicht unterdrücken, daß die Hankel'sche Theorie so ganz allen Zusammenhangs mit den Vorstellungen entbehrt, die wir uns gegenwärtig von allen übrigen magnetischen und elektrischen Erscheinungen machen.

270 **Diamagnetismus der Flamme.** Die früheren Versuche Faraday's gaben auf das Verhalten der Gase gegen Magnetpole keine entscheidenden Resultate; es blieb zweifelhaft, ob die Gase auf den magnetischen Nullpunkt zwischen die magnetischen und diamagnetischen Körper zu stellen seyen, oder ob die negativen Resultate daher rührten, daß die Masse der Gase zu unbedeutend war, um die Wirkung der Magnetpole auf die Wandungen der dünnen Röhren zu modificiren, in welchen die Gase eingeschlossen waren.

Um die Universalität des Magnetismus darzuthun, machte Bancalari von Genua auf der im Herbst 1847 zu Venedig gehaltenen Versammlung italiänischer Naturforscher Versuche über das Verhalten der Flamme gegen Magnetpole, um auf diese Weise die Wirkung des Magnetismus auf Gase zu verificiren. Es ergab sich, daß die Flamme, zwischen die Pole eines Elektromagneten gestellt, im Augenblicke der Herstellung des elektrischen Stromes eine Abstoßung erfährt, und bei Unterbrechung desselben sogleich wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrt

Zantedeschi wollte den Versuch wiederholen; anfangs glückte es ihm nicht, später aber gelang es ihm, die Erscheinung selbst mit sehr geringen Mitteln hervorzubringen. (Gazz. Piemont. 1847, 12. Oct. Nr. 242; Pogg. Ann. LXXIII, 286.)

Nachdem Faraday Nachricht von den oben besprochenen Resultaten der italiänischen Naturforscher erhalten hatte, stellte auch er Versuche über das Verhalten der Flamme zwischen Magnetpolen an; er fand alsbald das Hauptresultat, nämlich den Diamagnetismus der Flamme, bestätigt. Im Wesentlichen fand stets eine Abstoßung der Flamme durch die Magnetpole statt, welche sich dadurch zeigte, daß sie, von den axialen Dimensionen zurückweichend, sich mehr in äquatorialer Richtung ausdehnt. (Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXXI pag. 401. Pogg. Ann. LXXIII, 256.)

Auch Plücker hat, und zwar ganz selbstständig, über diesen Gegenstand experimentirt, und ähnliche Resultate erhalten, wie Bancalari, Zantedeschi und Faraday. Was die näheren Details der Erscheinung betrifft, so wollen wir der Plücker'schen Beschreibung folgen, weil er sie durch Abbildungen verdeutlicht hat. (Pogg. Ann. LVIII, 549.)

Um die Frage über den Diamagnetismus der Gase zur Entscheidung zu bringen, suchte Plücker zuerst die Masse der dieselben einschließenden Hüllen möglichst zu vermindern. Er experimentirte mit Seifenblasen, erhielt aber nur negative Resultate und wandte sich deshalb zur Untersuchung gefärbter Gase ohne Hüllen.

Die auf die Polflächen seines Elektromagneten aufgelegten Halbanker waren mit conischen Spitzen versehen, die einander auf 3,5^{mm} genähert wurden. Unter dieselben wurde eine etwas dickere, vorher erwärmte Platinplatte gebracht und das Ganze mit dem oben offenen Glaskasten der Torsionswage überdeckt. Als nun Jodstückchen auf die Platinplatte gebracht wurden, stiegen die Joddämpfe in Form einer schmalen geraden Säule zwischen den Polspitzen in die Höhe; die Schließung der Kette bewirkte aber, daß sie sich in der Höhe der Polspitzen augenblicklich theilte und in der Aequatorialebene eine Parabel bildete, die bis zu einer Höhe von 100 bis 150^{mm} noch ganz scharf blieb. Dieser Versuch beweist, daß die Joddämpfe von beiden Polen eines Magneten abgestoßen werden.

Aehnlich verhalten sich Brombämpfe, Chlor, salpetrige Säure, sichtbarer Wasserdampf u. s. w., alle zeigten sich stärker diamagnetisch als die Luft.

Da die verschiedenen Flammen nichts anderes sind, als die bei dem Verbrennungsprocesse erzeugten, im glühenden Zustande befindlichen Gase mit oder ohne beigemischte glühende feste Stoffe, so wandte sich Plücker nun zur Untersuchung des Einflusses, welchen die Magnetpole auf die

Flammen ausüben. Unter den mannigfaltigen Formen, welche die Erſcheinung darbietet, je nachdem man Form und Entfernung der Halbanker oder die Natur der Flammen ſelbſt abänderte, wollen wir einige der charakteriſtiſchſten hervorheben.

Die Polſpitzen waren durch einen Zwiſchenraum von 3,5 mm von einander getrennt; eine ruhig brennende, keinen Ruß abſetzende Talgkerze wurde ſo zwiſchen die Polſpitzen gehalten, daß ſich dieſe in $^7/_8$ der urſprünglichen Höhe der Flammen befanden. Fig. 264 *a* zeigt für dieſen Fall die äquatoriale Anſicht, Fig. 264 *b* den axialen Durchſchnitt der Flamme.

Fig. 264.

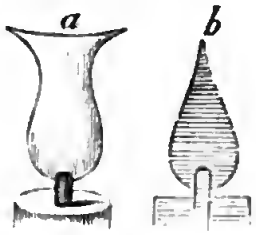
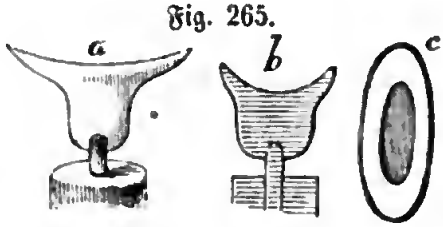


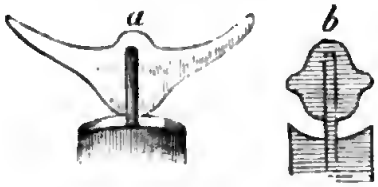
Fig. 265.



Als die Flamme gehoben wurde, ſo daß ſich die Polſpitzen in der Hälfte ihrer urſprünglichen Höhe befanden, nahm die Flamme in äquatorialer Richtung die Geſtalt Fig. 265 *a* an, Fig. 265 *b* ſtellt den entſprechenden axialen Durchſchnitt dar. Fig. 265 *c* iſt eine Anſicht der Flamme von oben.

Endlich wurde die Talgkerze ſo weit gehoben, daß ſich die beiden Polſpitzen mit dem oberen Ende des Dochtes in gleicher Höhe befanden und die Flamme, durch die eiſernen Polſpitzen abgekühlt, nicht mehr mit vollem Lichte brannte. Als die Kette geſchloſſen wurde, erhielt ſie nicht allein ihr früheres Licht wieder, ſondern ſie brannte noch ſtärker, indem ſie heruntergedrückt wurde und in der Aequatorialanſicht die Form Fig. 266 *a* annahm. Ein ſenkrechter axialer Durchſchnitt iſt in Fig. 266 *b* dargeſtellt.

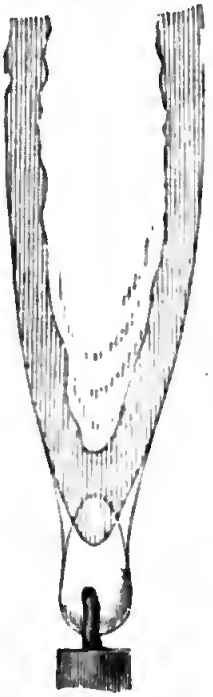
Fig. 266.



Bei dieſen Verſuchen mit der Talgkerze brannte dieſelbe, ohne Ruß abzuſetzen. Ein ſtark rußendes Talglicht bietet ganz andere Erſcheinungen dar. Wenn ſich insbeſondere die beiden Polſpitzen in $^3/_4$ der Höhe der urſprünglichen Flamme befanden, ſo ergab ſich beim Schließen der Kette die in Fig. 267 (ſ. gegenüberſtehende Seite) dargeſtellte Aequatorialanſicht. Der aufſteigende graue Qualm breitete ſich bei einer Dicke von 7 mm in der Aequa-

torialebene bedeutend aus. Er wurde auswärts scharf von einer Parabel begränzt, deren Scheitel genau in die Mitte zwischen die beiden Polspitzen fällt.

Fig. 267.



Aehnliches zeigte eine rußende Terpentinölflamme, der von einem brennenden Stück Zunder aufsteigende Rauch u. s. w.

Alle die verschiedenen Formen, welche die Flammen unter dem Einfluß von Magnetpolen annehmen, erklären sich aus der Annahme, daß die Masse der Flammen durch die Magnetpole abgestoßen wird und daß diese Abstoßung hauptsächlich von der Axenlinie aus nach den Seiten erfolgt; es wird also durch diese Versuche bewiesen, daß die verschiedenen untersuchten Flammen sich diamagnetisch verhalten und zwar, daß sie in höherem Grade diamagnetisch sind als die umgebende Luft.

In der Flamme einer Talg-, Stearin- oder Wachskerze findet sich glühende fein zertheilte Kohle, in der Phosphorflamme findet sich glühende feste Phosphorsäure vor, und diesen Körpern könnte man die beobachtete Abstoßung der entsprechenden Flammen zuschreiben; allein auch die Flammen des Wasserstoffgases, des Alkohols, des Schwefels zeigen dieselben Erscheinungen, und in diesen Flammen befinden sich doch keine festen glühenden Körper, sondern nur Wasserdampf, Kohlensäure und schwefelige Säure, welche im glühenden Zustande sämmtlich stärker diamagnetisch sind als Luft.

Diamagnetismus der Gase. Es ließ sich wohl erwarten, daß die 271
hohe Temperatur der in der Flamme glühenden Gase einen wesentlichen Antheil an dem starken Diamagnetismus hat, den sie zeigen; um diesen Einfluß der Temperatur ganz rein zu haben, stellte Faraday folgenden Versuch an, welcher sich mit den sogleich zu besprechenden weiteren Versuchen über den Diamagnetismus der Gase in dem bereits citirten Aufsatze beschrieben findet. (Pogg. Ann. LXXIII, 256.)

Eine kleine Spirale von dünnem Platindraht war mit ihren beiden Enden an zwei dickere Kupferdrähte befestigt, so daß sie durch den Strom einer Volta'schen Batterie in's Glühen versetzt werden konnte. Auf diese Weise war die brennende Kerze durch eine glühende Spirale ersetzt, welche einen stark erhitzten und zugleich chemisch unveränderten Luftstrom gab. Als der Schraubendraht gerade unter die axiale Linie gestellt ward, stieg die erhitzte Luft frei zwischen den Polen empor, wie sich dies beim Dar-

überhalten eines Thermometers oder eines Fingers oder eines Papiers, welches verkohlt wurde, ergab. Sobald aber der Magnet in Thätigkeit geſetzt wurde, theilte ſich die heiße Luft in zwei Ströme, die an den beiden Seiten der axialen Linie emporſtiegen; allein zwiſchen den Polen bildete ſich ein niederſinkender Strom, der hinabging zum Schraubendraht und zur heißen Luft, welche ſeitwärts aufſtieg.

Die erhitzte Luft iſt alſo ſtärker diamagnetiſch, als Luft von gewöhnlicher Temperatur. Ebenſo zeigte ſich Luft von gewöhnlicher Temperatur diamagnetiſch gegen ſolche, welche ſtärker erkaltet war.

Um das Verhalten verſchiedener Gasarten bei gleicher Temperatur (der Temperatur der umgebenden Luft) zu prüfen, ſchlug Faraday folgendes Verfahren ein. Das zu prüfende Gas befand ſich in einer Woulf'ſchen Flaſche. In die eine Oeffnung derſelben wurde eine faſt bis zum Boden der Flaſche hinabragende Röhre befeſtigt und durch dieſe wurde das Waſſer eingegoſſen, welches das Gas austreiben ſollte. Der Zufluß des Waſſers war ſo regulirt, daß in der Minute 12 Cubikzoll Waſſer hier ein-, alſo ebenſo viel Gas durch die andere Oeffnung ausſtrömte. Das Gas wurde durch eine Glasröhre zu der Stelle geleitet, an welcher es ausſtrömen ſollte. Die Ausſtrömungsöffnung hatte ungefähr $\frac{1}{8}$ Zoll Durchmeſſer; ſie befand ſich unter den Polſpitzen, wenn man mit einem leichteren, über den Polſpitzen, wenn man mit einem ſchwereren Gas experimentirte, ſo daß ein in der Mitte zwiſchen den Polſpitzen aufſteigender oder niederſinkender Gasſtrom hervorgebracht wurde.

In der Ausſtrömungsröhre befand ſich ein Stück Fließpapier, welches mit concentrirter Salzſäure befeuchtet war, ſo daß das ausſtrömende Gas immer etwas Salzſäure mit ſich führte. Um nun den Weg zu zeigen, welchen die aufſteigende oder niederſinkende Gasſäule nimmt, verfuhr Faraday in folgender Weiſe: Ueber oder unter dem Mittelpunkt der Linie, welche die beiden Polſpitzen verbindet, war eine an beiden Enden offene Glasröhre, ſo lang und ſo dick wie ein Finger, angebracht; eine gleiche Röhre in äquatorialer Richtung auf jeder Seite derſelben, ſo alſo, daß die Ebene, welche die Axen dieſer drei verticalen Röhren verbindet, äquatorial ſteht. Jede dieſer Röhren enthielt ein Stück Fließpapier, welches in Ammoniakflüſſigkeit getaucht war, ſo daß Nebel entſtehen mußten, wenn das ſalzſäurehaltige Gas durch eine ſolche Röhre hindurchging.

Strömte das Gas frei auf oder ab, ſo ging es durch die mittlere Röhre; erſchien es aber nach Schließung der Kette in den Seitenröhren, ſo war das ein Zeichen, daß es diamagnetiſch gegen Luft iſt.

In dieſer Weiſe geprüft, zeigten ſich diamagnetiſch: Stickſtoff (ſchwach), Waſſerſtoff, Kohlenſäure, Kohlenoxydgas, Stickſtoffoxydul, ölbildendes Gas, Steinkohlengas, Chlorwaſſerſtoffſäure, Jodwaſſerſtoffſäure, Am-

moniak, Chlor, Jod, Brom, Cyan. — Sauerstoff zeigte sich weniger diamagnetisch als Luft. — Stickstoffoxyd und salpeterigsaures Gas gaben keine entscheidenden Resultate.

Faraday änderte nun den Versuch dahin ab, daß er den Versuchsraum gegen die äußere Luft absperrte und ihn mit Kohlensäure, mit Steinkohlengas oder mit Wasserstoffgas füllte, so daß die zu untersuchenden Gase nicht in Luft, sondern in Kohlensäure, Steinkohlengas oder Wasserstoffgas ausströmten.

In Kohlensäure ging Sauerstoff zur Magnetaxe; Stickstoff, Wasserstoff, Steinkohlengas, ölbildendes Gas, Salzsäure und Ammoniak waren in Kohlensäure diamagnetisch.

In Steinkohlengas waren magnetisch: Luft, Sauerstoff, Stickstoff; diamagnetisch waren: ölbildendes Gas, Kohlenoxyd u. s. w.

In Wasserstoffgas waren magnetisch: Luft, Sauerstoff; diamagnetisch waren Stickstoff, Ammoniak u. s. w.

Am Schlusse seiner Abhandlung Seite 579 beschreibt Plücker noch folgenden interessanten Versuch: Zwei Halbanker wurden so auf die Pole gelegt, daß sie mit ihren halbkreisförmigen Enden in kürzester Entfernung noch 5^{mm} von einander abstanden; zwischen ihnen befand sich ein Gefäß von dünnem Messingblech, welches möglichst genau, und nur noch einen kleinen Spielraum übriglassend, zwischen die beiden Anker paßt. Das Gefäß war 41^{mm} hoch, nach äquatorialer Richtung 93^{mm} lang, nach axialer Richtung in der Mitte 4,5, an den Enden 40^{mm} breit. Es war überall luftdicht verschlossen und nur an einer Seite war eine Glasröhre von 1^{mm} Durchmesser eingelassen. Nachdem das Gefäß die Temperatur der umgebenden Luft angenommen hatte, wurde es durch Berührung mit der Hand ein wenig erwärmt, und dann, um die innere Luft abzusperren, ein Alkoholtropfen vor die Oeffnung der Röhre gebracht. Beim Fortnehmen der Hand trat der Tropfen in die Röhre und kam in der Nähe des Gefäßes zur Ruhe. Dann wurde der Magnetismus durch Schließen einer Kette von 12 Grove'schen Elementen hervorgerufen und in demselben Momente der Alkoholtropfen 3^{mm} nach der Oeffnung der Röhre hin fortgestoßen, und wenn dann, nachdem er nach einiger Zeit zur Ruhe gekommen war, die Kette wieder geöffnet wurde, kehrte er genau zur ursprünglichen Lage zurück. Die Luft war also in Folge diamagnetischer Abstoßung durch den Elektromagneten ausgedehnt worden und hatte sich, mit dem Verschwinden des Magnetismus, wieder auf das ursprüngliche Volumen zurückgezogen.

Einwirkung von Magnetpolen auf Flüssigkeiten. Wenn Mas- 272
sen von feinen Eisenfeilspähnen über die Pole eines Magneten gebracht

werden, ſo bilden ſie, weil ſie von den Polen angezogen werden, Anhäufungen, die nach der Form und Entfernung der Pole verſchiedene Configurationen annehmen. In entſprechender Weiſe müſſen auch magnetiſche Flüſſigkeiten afficirt werden. Von dieſem Geſichtspunkte ausgehend, brachte Plücker (Pogg. Ann. LXXIII, 565) verſchiedene Flüſſigkeiten in einem Uhrglaſe über die Pole des Elektomagneten und die beobachteten Erſcheinungen entſprachen ganz ſeinen Erwartungen.

Zuerſt experimentirte er mit einer ziemlich concentrirten Auflöſung von Eiſenchlorid; in einem Uhrglas, in welchem ſie urſprünglich einen Kreis von 25mm Durchmeſſer bildete, wurde die Löſung auf den Zwiſchenraum zwiſchen den beiden auf die Pole aufgelegten Halbankern gebracht. Dieſe Halbanker waren an den einander zugekehrten Seiten etwas abgerundet; in den Figuren 268 und 269 bezeichnen die mit größeren Radien beſchriebenen beiden Kreisbogen die oberen gekrümmten Kanten der Halbanker.

Fig. 268.

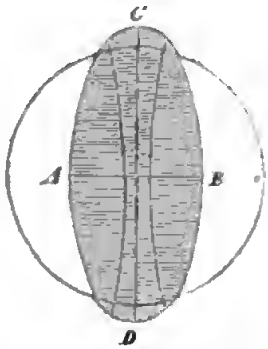


Fig. 269.

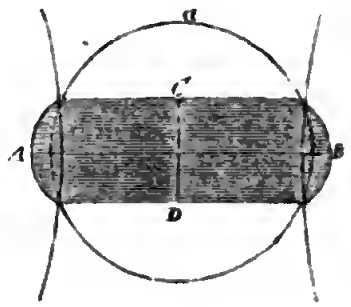


Fig. 270.

Fig. 271.

Als die Halbanker bis auf 2,5mm genähert waren, nahm die urſprünglich kreisförmige Maſſe der Löſung nach Schließung der Kette die elliptiſche Geſtalt *ABCD* Fig. 268 an; die Axen dieſer Ellipſe betrugen 30,5 und 13 Millimeter. Gleichzeitig ging auch die horizontale Oberfläche verloren; ſie bildet in der äquatorialen Ebene einen Bergrücken, deſſen axialen Querſchnitt man in Fig. 270 ſieht.

Als die Halbanker bis auf 23 Millimeter entfernt wurden, nahm die Flüſſigkeit die Geſtalt Fig. 269 an; Fig. 271 zeigt den entſprechenden axialen Durchſchnitt.

Plücker beſchreibt die Erſcheinung auch noch für einige andere Entfernungen der Halbanker; ich habe hier nur die charakteriſtiſchſten ausgewählt.

Dieſe Erſcheinungen erklären ſich ganz einfach aus dem Umſtande, daß die magnetiſche Flüſſigkeit ſich an den Stellen anzuhäufen ſtrebt, wo die

magnetiſche Wirkung am kräftigſten auftritt, alſo über den Kanten der Halbaxen.

Eine Löſung von Eiſenchlorür zeigte ſich ſchwächer magnetiſch, noch weniger eine ſolche von Eiſenvitriol. Eine Löſung von ſalpeterſaurem Nickeloxyd iſt ſtärker magnetiſch als die Löſung des Eiſenvitriols.

Dieſe Verſuche wurden mit dem großen Elektromagneten angeſtellt, welcher durch den Strom von zehn Grove'ſchen Elementen erregt war.

Plücker unterwarf nun auch diamagnetiſche Flüſſigkeiten demſelben Verfahren. Als die Anker bis auf 2,5^{mm} genähert waren, dehnte ſich die Flüſſigkeit nach der axialen Richtung aus, während ſie ſich nach der äquatorialen zuſammenzog. Oberhalb der Mitte zwiſchen den beiden Halbankern bildete ſich ſtatt des früheren Bergrückens ein in der Aequatorialebene ſich hinziehendes Thal. — Bei diamagnetiſchen Flüſſigkeiten zeigt ſich ein Zurückweichen von den Kanten der Halbanker, doch ſind die Wirkungen ſchwächer als bei magnetiſchen Flüſſigkeiten.

Waren die Halbanker 2 bis 4 Millimeter weit von einander entfernt, ſo zeigte ſich keine einzige der von Plücker unterſuchten Flüſſigkeiten indifferent. Als diamagnetiſch wurden auf dieſe Weiſe unter anderen erkannt: Waſſer, Alkohol, Schwefeläther, Schwefelſäure, Salpeterſäure, Salzſäure, Ammoniakflüſſigkeit, Schwefelkohlenſtoff, fette und ätheriſche Oele, Löſungen von ſalpeterſaurem Wismuth, Kochſalz, Salpeter, Glauberſalz; ferner Milch, Blut und namentlich Löſungen von gelbem und rothem Blutlaugenſalz.

Stärkere Wirkung als bei Anwendung eines Uhrglaſes erhält man, wenn man kleinere Quantitäten von Flüſſigkeit auf ein Glimmerblatt bringt und dies auf die etwa 3^{mm} von einander entfernten Halbanker legt.

Intenſitätsbeſtimmung magnetiſcher und diamagnetiſcher Kräfte. Die Größe der Anziehung, welche magnetiſche Flüſſigkeiten durch Magnetpole erfahren, hat Plücker in folgender Weiſe gemeſſen (Pogg. Ann. LXXIV, 321): Zur Aufnahme der Flüſſigkeit dient ein Uhrglas mit abgeſchliffenem Rande; es wird bis über dieſen Rand mit der Flüſſigkeit gefüllt und dann dieſelbe mit einem als Deckel dienenden matten Glaſe abgeſtrichen, ſo daß man ſicher iſt, daß die eingeſchloſſene Flüſſigkeit bei gleicher Form ſtets daſſelbe Volumen einnimmt. 273

Um die Stärke der Anziehung zu beſtimmen, wird das Uhrglas mit ſeinem Inhalte und ſeinem Deckel in einen dünnen Ring von Meſſing gebracht, der an drei etwa 200^{mm} langen Seidenfäden an einer Wage hängt, welche hinreichend fein iſt, um 1 Milligramm anzugeben, und an der, außer der Axe des Wagbalkens, kein Eiſen ſich befindet. Um die

Wirkung bei ſchwachen Kräften zu verſtärken, wird das Glas nicht mit einem einzelnen Pole in Berührung gebracht, ſondern es werden die beiden Halbanker, welche auch zu den in den vorigen Nummern beſchriebenen Verſuchen dienten, ſo auf die Pole gelegt, daß die abgerundeten Enden derſelben noch 6^{mm} von einander abſtanden: die Wage wurde genau ſo adjuſtirt, daß das Uhrglas mit dem Ringe, wenn die Wage tarirt iſt, gleichzeitig jeden der beiden Halbanker eben berührt. Nach Erregung des Magnetismus wird das Uhrglas mit ſeinem Inhalt angezogen, und um es von den Halbankern abzureißen, wird auf die Wagſchale der anderen Seite feines Bleiſchrot und dann feiner Sand aufgelegt. Das Gewicht des zugelegten Schrotes oder Sandes iſt das Maaß für die jedesmalige magnetiſche Kraft.

Das leere Uhrglas ſelbſt nebſt dem Meſſingringe zeigte ſich magnetiſch: als der Elektromagnet durch 6 Platinelemente erregt wurde, ward es noch mit einer Kraft von 0,4 Gramm angezogen.

Als das Uhrglas mit Waſſer gefüllt wurde, betrug die Anziehung noch 0,28 Gramm. Die diamagnetiſche Abſtoßung des im Uhrglaſe eingeſchloſſenen Waſſers beträgt alſo 0,12 Gramm.

Nun bereitete Plücker vier Löſungen von Eiſenchlorür, deren Salzgehalt ſich vertheilt wie

8 : 4 : 2 : 1.

Die zum Abziehen nöthigen Gewichte waren für

das Uhrglas mit der Löſung	Nro. 1 . . .	3,94	Gramm
» » » » »	Nro. 2 . . .	2,14	»
» » » » »	Nro. 3 . . .	1,23	»
» » » » »	Nro. 4 . . .	0,72	»

Dieſe Zahlen geben aber nicht rein die Anziehung des Eiſenchlorürs; um dieſe zu erhalten, muß man die Anziehung des Glaſes ſelbſt und die diamagnetiſche Abſtoßung des Waſſers in Rechnung bringen. Betrachten wir die Löſung Nro 1 als die urſprüngliche magnetiſche Subſtanz, ſo kommen in den folgenden Löſungen $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$ des ganzen Volums an Waſſer hinzu, und die entſprechenden diamagnetiſchen Abſtoßungen ſind, bei der gleichmäßigen Vertheilung des Waſſers durch den ganzen Raum, hiernach die folgenden

0,06 Gramm, 0,09 Gramm, 0,105 Gramm.

Somit ergeben ſich die folgenden Zahlen für die Anziehung der urſprünglichen Eiſenchlorürlöſung

in Nro. 1	3,94$^{gr.}$	— 0,40$^{gr.}$	. . . . .	=	3,54$^{gr.}$
» Nro. 2	2,14	— 0,40	+ 0,06$^{gr.}$ . .	=	1,80
» Nro. 3	1,23	— 0,40	+ 0,09 . .	=	0,920
» Nro. 4	0,72	— 0,40	+ 0,105 . .	=	0,425.

Die Zahlen der letzten Columne verhalten sich in der That sehr nahe wie 8 : 4 : 2 : 1, diese Versuche zeigen also, daß die Anziehung der Eisenchlorürlösung dem Gehalte an Eisenchlorür proportional ist.

Ganz ähnliche Resultate wurden mit fein zertheiltem Eisen erhalten, welches gleichmäßig in frischem Schweineschmalz vertheilt war. Es wurden fünf verschiedene Gemenge gemacht, indem

$$1{,}6^{\text{gr.}} \quad 0{,}8^{\text{gr.}} \quad 0{,}4^{\text{gr.}} \quad 0{,}2^{\text{gr.}} \quad 0{,}1^{\text{gr.}}$$

des fein zertheilten Eisens mit 25 Gramm Schweineschmalz in einem Mörser zu einer für das Auge homogenen Masse verrieben wurden.

Das Uhrglas mit reinem Schweineschmalz gefüllt, wurde mit einer Kraft von 0,25 Grammen angezogen. Dann wurde das Uhrglas nach einander mit jedem der fünf Gemenge angefüllt, das Gewicht des Gemenges im Uhrglase (woraus die Menge des in demselben befindlichen Eisens sich berechnen läßt) und endlich das zum Abziehen des Uhrglases nöthige Gewicht bestimmt. Es ergaben sich hierbei die folgenden Resultate:

	Gewicht des Gemenges.	Eisenmenge.	Anziehung.
Nro. 1	10,70 Gramm	0,6848 Gramm	259,95 Gramm
Nro. 2	10,65 »	0,3408 »	133,60 »
Nro. 3	10,15 »	0,1624 »	64,73 »
Nro. 4	10,35 »	0,0828 »	34,65 »
Nro. 5	10,15 »	0,0406 »	15,95 »

Die Zahlen der letzten Verticalreihe geben die Anziehung des Eisens in den verschiedenen Schmalzgemengen; es sind die Gewichte, welche zum Abreißen des Uhrglases erforderlich sind, vermindert um 0,25 Gramm, wobei, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, angenommen worden ist, daß die Menge des diamagnetischen Schmalzes überall dieselbe geblieben sey.

Wir sehen, daß auch hier die Anziehung sehr nahe der Menge des metallischen Eisens proportional ist, welche in dem Innern des Uhrglases gleichförmig verbreitet ist.

Nun ging Plücker zur Vergleichung des Magnetismus verschiedener Substanzen über; sie wurden theils in Lösung, theils in Pulverform in das Uhrglas gebracht und dann auf die angegebene Weise mit ihnen verfahren. Die Resultate einer solchen Versuchsreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

	A	B	C	D
Salpeterſ. Eiſenoxyd. — Löſung	14,55 gr.	1,212 gr.	2,502 gr.	2,064 gr.
Salzſaures Eiſenoxyd »	16,475	2,213	8,240	3,723
Schwefelſ. Eiſenoxyd »	18,25	2,243	5,335	2,379
Salzſaures Eiſenoxydul »	16,535	2,825	7,095	2,501
Schwefelſ. Eiſenoxydul »	—	0,445	1,350	3,034
Schmalzmiſchung 50 : 1 »	8,225	0,161	82,370	510,740
Eiſenoxyd I. gepulvert	12,188	8,532	31,210	3,658
Eiſenoxyd II. »	14,825	10,377	21,690	2,090
Rotheiſenſtein »	28,55	19,985	19,596	0,981
Eiſenglanz »	33,72	23,604	91,755	3,887
Eiſenoxydhydrat »	16,50	8,750	13,238	1,513
Künſtlicher Blutſtein »	12,45	7,708	9,618	1,235
Schwefelarſen »	25,22	11,770	19,417	1,650
Nickeloxydul »	14,65	11,535	2,630	0,228
Nickeloxydulhydrat »	11,125	6,574	6,055	0,921
Schmalzmiſchung 25 : 1 . . .	10,850	—	210,866	—
1 Thl. Magneteiſenſtein 25 Thle. Schmalz	11,00	—	86,135	—
Manganoxydhydrat, gepulvert	23,901	—	8,470	—
Manganoxyd »	22,869	—	18,470	—

Die unter dem Strich ſtehenden Zahlen gehören einer anderen Verſuchsreihe an.

Die Columne unter *A* enthält das Gewicht der unterſuchten Subſtanz, unter *B* findet ſich das Gewicht des in der unterſuchten Maſſe enthaltenen Eiſens oder Nickels; die mit *C* überſchriebene Columne enthält die Größe der beobachteten magnetiſchen Anziehung. Dividirt man mit den Zahlen unter *B* in die unter *C* ſtehenden, ſo erhält man die letzte Verticalreihe, welche alſo angiebt, wie groß die Anziehung geweſen ſeyn würde, wenn bei gleichmäßiger Vertheilung im Innern des Uhrglaſes der Eiſen- (oder Nickel-) Gehalt der Subſtanz gerade 1 Gramm betragen hätte.

Wir ſehen daraus, daß bei gleichem Eiſengehalt die magnetiſche Anziehung verſchiedener Eiſenverbindungen ſehr verſchieden iſt, daß die magnetiſchen Eigenſchaften des Eiſens in den meiſten ſeiner Verbindungen außerordentlich geſchwächt erſcheinen. Bezeichnen wir die magnetiſche Anziehung

des metalliſchen Eiſens mit 100,000, ſo iſt die Anziehung, welche unter gleichen Umſtänden die gleiche Menge Eiſen in verſchiedenen Verbindungen erfährt, die folgende:

Eiſen metalliſch	100000
» im Oxyd I.	714
» » Oxyd II.	409
» » Rotheiſenſtein	191
» » Eiſenglanz	761
» » Eiſenoxydhydrat	296
» » Blutſtein	240
» » Schwefelkies	321
» in der Löſung von ſalpeterſ. Eiſenoxyd	410
» » » » » ſalzſaurem »	737
» » » » » ſchwefelſ. »	474
» » » » » ſalzſaurem Eiſenoxydul	490
» » » » » ſchwefelſ. »	594

Die Ungleichheit der Zahlen, welche für die beiden Verſuche mit Eiſenoxyd erhalten wurden, rührt wohl daher, daß ſie nicht ganz rein waren, daß namentlich das Oxyd Nro. 1 noch Oxydul enthielt.

Man ſieht aus dieſer Zuſammenſtellung, wie ſehr die magnetiſchen Eigenſchaften des Eiſens abnehmen, wenn dieſes Metall mit anderen Körpern chemiſche Verbindungen eingeht.

Eine einzige Eiſenverbindung zeigt einen ſtärkeren Magnetismus; bezeichnen wir den Magnetismus des Eiſens mit 100,000, ſo iſt der eines gleichen Gewichtes Magneteiſenſtein 40,227. Es iſt dies der Magneteiſenſtein, eine Verbindung von Eiſenoxyd mit Eiſenoxydul ($FeO + Fe_2O_3$). — Der ſtarke Magnetismus dieſer Verbindung rührt höchſt wahrſcheinlich daher, daß das Eiſenoxydul in ſehr hohem Grade magnetiſch iſt. Das Eiſenoxydul ſelbſt konnte Plücker bisher noch nicht unterſuchen.

Eine auffallende Erſcheinung iſt es, daß das Nickeloxydulhydrat viel ſtärker magnetiſch iſt als das Nickeloxydul ſelbſt.

In den Salzlöſungen ſcheint durch das Hinzutreten der Säuren zu dem Oxyde der urſprüngliche Magnetismus des Oxyds nicht weiter geſchwächt zu werden.

Die Verſuche, welche Plücker anſtellte, um die Stärke des Diamagnetismus verſchiedener Subſtanzen zu vergleichen, gaben folgende Reſultate:

Anziehung	
des leeren Uhrglaſes mit Deckel und Meſſingring	0,49gr.
des Uhrglaſes gefüllt mit deſtillirtem Waſſer . .	0,35
mit Alkohol	0,36
» Schwefeläther	0,36
» Löſung von gelbem Blutlaugenſalz	0,37
» » » rothem »	0,72
» Phosphor	0,24
» Schwefelblüthe	0,39
» Schwefelſäure	0,40
» geſchlagenem Ochſenblut	0,32
» Queckſilber	0,05
» Schwefelkohlenſtoff	0,31
» Salzſäure	0,33
» Salpeterſäure	0,39
» Terpentinöl	0,34

Daraus ergiebt ſich:

	Diamagnetiſche Abſtoßung.	Diamagnetismus bei gleichem Volum.	Diamagnetismus bei gleichem Gewicht.
Waſſer	0,14gr.	100	100
Alkohol (0,813)	0,13	93	114
Schwefeläther	0,13	93	127
Schwefelkohlenſtoff	0,18	129	102
Schwefelſäure	0,09	64	34
Salzſäure	0,16	114	102
Salpeterſäure	0,10	71	48
Ochſenblut	0,17	122,5	—
Gefällte Löſung von gelb. Blutlaugenſalz	0,12	86	70
Wismuthoxyd, gepulvert . . .	0,06	—	35
Schwefelblüthe	0,10	—	71
Terpentinöl	0,15	107	123
Queckſilber	0,44	314	23
Phosphor	0,25	172	100

Das gelbe Blutlaugenſalz zeigte ſich auch bei dieſen Verſuchen diamagnetiſch, das rothe dagegen war, den früheren Verſuchen entgegen, ſchwach magnetiſch.

Endlich ſtellte Plücker nach derſelben Methode auch Verſuche an, um den Einfluß der Temperatur auf die Stärke des Magnetismus und Diamagnetismus zu ermitteln.

Das Uhrglas wurde durch eine halbkugelförmige Schale von Meſſingblech erſetzt, dieſelbe zum Theil mit Sand gefüllt, ein kleines Stück Eiſenblech horizontal auf denſelben gelegt und dann noch eine 6 bis 8 Millimeter hohe Schicht Sand aufgeſchüttet. — Die Schale mit ihrem Inhalte wurde über einem Kohlenfeuer erhitzt und dann das zum Abreißen nöthige Gewicht beſtimmt; es betrug 153,7 Gramm. Während des Erkaltens nahm das zum Abreißen nöthige Gewicht allmälig zu; nach 25 Minuten betrug es 166,75 Gramm.

In ähnlicher Weiſe wurde Eiſenoxyd in einer Porcellanſchale unterſucht. Während der Erkaltung von 300° auf 30° C. nahm die zum Abreißen nöthige Kraft von 52,01 Gramm bis 69,61 Gramm zu.

Auch Nickeloxyd iſt bei höherer Temperatur ſchwächer magnetiſch als bei niedriger; doch iſt der Wachsthum des Magnetismus nicht der Temperaturabnahme proportional. Während die Temperatur von ungefähr 300° C. ausgehend ſank, nahm der Magnetismus anfangs nicht merklich zu, erſt bei größerer Temperaturerniedrigung begann eine raſchere Zunahme des Magnetismus.

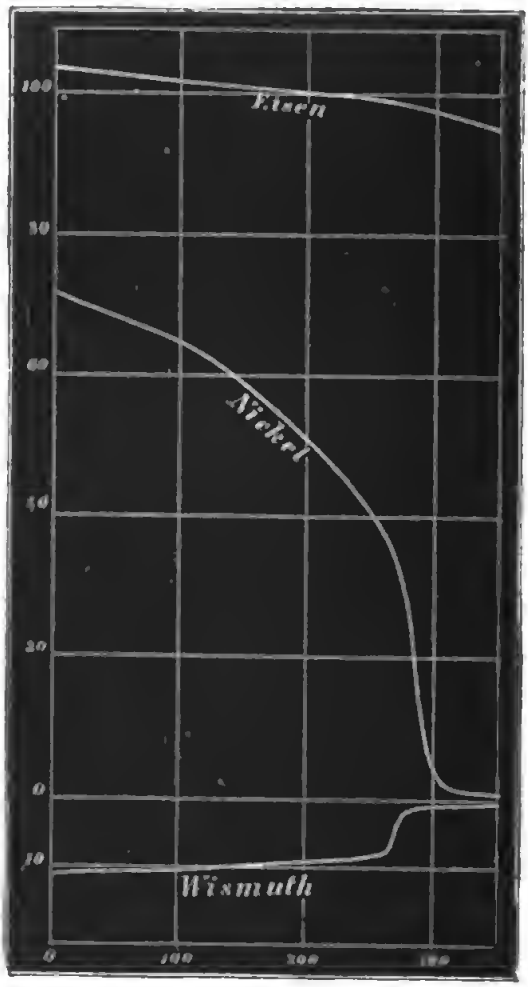
In ähnlicher Weiſe wurde auch der Einfluß der Temperatur auf die Stärke des Diamagnetismus geprüft. In derſelben Meſſingſchale, welche zu den Verſuchen mit dem Meſſingblech gedient hatte, wurden 116 Gramm Wismuth geſchmolzen und daſſelbe über die Temperatur des Schmelzpunktes hinaus erwärmt. Bei dem erſten Verſuche ergab ſich die Stärke des Diamagnetismus gleich 0,28 Gramm; mit ſinkender Temperatur nahm die Stärke des Diamagnetismus zu, und nach völliger Erkaltung war ſie auf 1,67 Gramm geſtiegen. Hiernach ſteht alſo feſt, daß der Diamagnetismus des Wismuths mit ſteigender Temperatur abnimmt.

Verſuche mit geſchmolzenem Stearin und geſchmolzenem Schwefel, deren Diamagnetismus gleichfalls während des Erkaltens beſtimmt wurde, gaben das Reſultat, daß der Diamagnetismus dieſer Körper innerhalb der hier ſtattfindenden Temperaturgrenzen keine merklichen Veränderungen erleidet.

Auch beim Queckſilber zeigte ſich keine merkliche Veränderung in der Stärke des Diamagnetismus, während derſelbe von 121° C. bis auf 33° C. erkaltete.

Später hat Plücker noch eine genauere Verſuchsreihe über dieſen Gegenſtand angeſtellt (Pogg. Ann. LXXV, 177). Zur Beobachtung der Temperatur wurde ein Thermometer in das Schälchen gebracht. In Fig. 272 ſind die Reſultate der Verſuche für Eiſen, Nickel und Wismuth graphiſch dargeſtellt. — Die Abſciſſen ſind der Temperatur, die Ordinaten ſind der durch Gramme gemeſſenen Anziehung proportional, die negativen Ordinaten entſprechen der diamagnetiſchen Abſtoßung. — Das Eiſen wurde in Form eines dünnen Blechs in Sand dem Verſuche ausgeſetzt. Das Nickel war pulverförmig. Um die Kurve für Wismuth deutlich zu machen, ſind die Ordinaten für dies Metall in 10fachem Maaßſtab aufgetragen als für die anderen Metalle. Bei 311° betrug die diamagnetiſche Abſtoßung des Wismuths 0,055 Grm., bei 149° betrug ſie 0,995 Gramm.

Fig. 272.



274 **Veränderlichkeit des Verhaltens gemiſchter Körper mit den Veränderungen der magnetiſchen Kraft.** Kaum waren Faraday's Verſuche über Diamagnetismus auf dem Continent bekannt geworden, ſo unternahm auch Plücker eine Reihe von Experimentaluntersuchungen über dieſen Gegenſtand; er entdeckte alsbald höchſt merkwürdige Modificationen, welche die magnetiſchen und diamagnetiſchen Erſcheinungen in doppelt brechenden Kryſtallen erleiden, ſo wie die auffallende Thatſache, daß ein und derſelbe Körper ſich bald magnetiſch, bald diamagnetiſch verhalten kann, je nachdem er ſich zwiſchen ſehr genäherten oder weiter entfernten Polſpitzen befindet. Die beiden erſten Aufſätze Plücker's, welche über ſeine diamagnetiſchen Arbeiten handeln, befinden ſich in Pog-

gendorff's Annalen (LXXII, 315, 351). Das Wesentlichste ihres Inhaltes ist bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Bd., S. 692) mitgetheilt worden.

Das eben erwähnte Uebergehen aus dem diamagnetischen in das magnetische Verhalten, findet, wenn es nicht durch Krystallisationsverhältnisse bedingt ist, nur bei Körpern statt, welche aus diamagnetischen und magnetischen Substanzen gemacht sind.

Später zeigte Plücker (Pogg. Ann. LXXIII, 617), daß eine Verstärkung des Magnetismus in den Polspitzen dieselbe Wirkung habe wie eine Annäherung derselben. Ein Stückchen Buchsbaumkohle, welches sich bei größerer Entfernung der Pole magnetisch, bei geringem Abstande derselben aber diamagnetisch verhielt, wurde zwischen die Polspitzen gebracht und deren Abstand so regulirt, daß das Kohlenstückchen sich entschieden axial stellte, wenn der Elektromagnet durch den Strom eines einzigen Grove'schen Elementes erregt ward. Als statt dessen zwei Elemente angewandt wurden, war es schwer zu bestimmen, ob es sich magnetisch oder diamagnetisch verhalte; bei drei Elementen stellte es sich aber entschieden äquatorial, und die diamagnetische Kraft nahm bei noch größerer Stromstärke immer mehr zu.

Ein zweiter Versuch mit einem anderen Kohlenstückchen gab ein gleiches Resultat.

Durch die Zunahme der Kraft der Magnetpole wird also bei unveränderter Entfernung der Magnetismus der Holzkohle in Diamagnetismus verwandelt.

Diese Versuche zeigen, daß, wenn ein Körper bei wachsender Entfernung der Pole aus der äquatorialen in die axiale Lage übergeht, die Entfernung nicht als solche, sondern nur insofern in Betracht kommt, als mit der Entfernung von den Polen die Kraft des Elektromagneten abnimmt, daß bei wachsender Kraft des Elektromagneten der Diamagnetismus in rascherem Verhältniß zunimmt als der Magnetismus (Pogg. Ann. LXXIV, 363).

Es geht daraus hervor, daß man durch Mischung zweier Substanzen, von denen die eine magnetisch, die andere diamagnetisch ist, keinen Körper darstellen kann, der sich absolut indifferent gegen den Magneten verhält, weil, wenn für eine gewisse Magnetkraft beide Kräfte einander das Gleichgewicht halten, der Diamagnetismus bei wachsender, der Magnetismus bei abnehmender Kraft der Magnetpole zum Uebergewicht kommen wird.

Daß bei wachsender Kraft des Elektromagneten der Diamagnetismus in rascherem Verhältniß zunimmt als der Magnetismus, hat Plücker auch durch directe Messung dargethan. Als der Reihe nach der Elektro-

magnet durch 2, durch 3 und durch 10 Tröge erregt wurde, ergab ſich die Anziehung der bereits oben beſprochenen Meſſingſchale gleich

$$0{,}69^{gr.} \quad — \quad 1{,}13^{gr.} \quad — \quad 2{,}15^{gr.}$$

Es wurde nun ein $115^{gr.}$ ſchweres Stück Wismuth in die Schale gelegt und nun war die Anziehung

$$0{,}53^{gr.} \quad — \quad 0{,}71^{gr.} \quad — \quad 0{,}48^{gr.},$$

wonach ſich für den Diamagnetismus des Wismuths

$$0{,}14^{gr.} \quad — \quad 0{,}42^{gr.} \quad — \quad 1{,}67^{gr.}$$

ergiebt; während alſo durch Steigerung der Kraft der Magnetpole der Magnetismus der Schale in Verhältniß von 1 zu 3 wuchs, iſt der Diamagnetismus des Wismuths um mehr als zehnmal ſtärker geworden.

Sehr ſchön wird der obige Satz auch durch folgende Verſuchsreihen Plücker's bewieſen (Pogg. Ann. LXXV, 417): Das ſchon früher beſprochene Uhrglas, welches, wie wir wiſſen, mit ſeinem Meſſingringe ſchwach magnetiſch iſt, wurde in gewohnter Weiſe über die genäherten Pole an den einen Arm der Wage angehängt und ein abgerundetes Stück Wismuth hineingelegt. Die Wage wurde nun durch Tariren ins Gleichgewicht gebracht. — Der Wagebalken konnte nach Belieben gehoben oder geſenkt werden, ſo daß, ohne ihn aus ſeiner Gleichgewichtslage herauszubringen, die Entfernung des Uhrglaſes von den Polen vergrößert und verkleinert werden konnte. Es wurde nun bei verſchiedener Entfernung des Uhrglaſes und bei verſchiedener Stromſtärke die Anziehung oder Abſtoßung des Uhrglaſes ſammt ſeinem Inhalt von Wismuth in der Weiſe beobachtet, daß man ermittelte, um wie viel Millimeter daſſelbe durch die Einwirkung der Magnetpole aus ſeiner Gleichgewichtslage heraus gehoben oder geſenkt werde; es ergaben ſich dabei folgende Reſultate:

I. Bei Berührung der Anker durch das Uhrglas.

Anzahl der Tröge:	8	Abſtoßung:	$5{,}0^{mm}$
» » »	2	»	0,5
» » »	1	»	keine merkliche Wirkung.

II. Das Uhrglas $1{,}5^{mm}$ über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Abſtoßung:	$3{,}5^{mm}$
» » »	4	»	2,25
» » »	3	»	1,5
» » »	2	»	0,5
» » »	1	Anziehung:	1,0

III. Das Uhrglas $3{,}5^{mm}$ über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Abſtoßung:	$1{,}0^{mm}$
» » »	4	Anziehung:	1,0
» » »	1	»	3,0

IV. Das Uhrglas 5,5^{mm} über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Anziehung:	3,0^{mm}
» » »	1	»	3,25

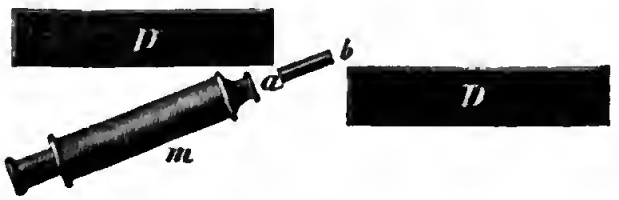
V. Das Uhrglas 8,5^{mm} über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Anziehung:	5,0^{mm}
» » »	1	»	ebenso.

E. Becquerel bestreitet, daß die Zunahme des Diamagnetismus in einem anderen Verhältniß zum Wachsthum der Stromstärke stehe als die des Magnetismus; er stützt sich dabei auf folgende Versuche (Ann. de Chim. et de Phys. sér. III. tom. XXVIII, 301).

Auf die Pole seines großen Elektromagneten waren prismatische Stücke von weichem Eisen aufgelegt, deren obere Fläche ein längliches Rechteck von 3 Centimeter Breite bildet; auf diese Flächen sind zwei Stäbchen *D* von weichem Eisen aufgelegt, welche 3 Centimeter hoch und eben so breit sind, und die sich einander gegenüber stehen, wie man Fig. 273 sieht. Zwischen den zugekehrten Enden dieser Eisenstäbchen hängt an einem feinen Silberfaden ein Stäbchen der zu untersuchenden Sudstanz, z. B. ein Wismuthstäbchen von 25^{mm} Länge und 3^{mm} Durchmesser. Der Silberfaden ist oben an einer Torsionsvorrichtung angebracht, durch welche das Stäbchen *ab* in die Fig. 273 bezeichnete Lage gebracht werden kann, während der Strom nicht durch die Windungen des Elektromagneten geht. In dieser Stellung kann das Stäbchen durch ein seitlich angebrachtes Mikroskop *m* beobachtet werden. Nun wird der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt, das Stäbchen wird abgestoßen und man muß die Torsionsvorrichtung um eine gewisse Anzahl von Graden drehen, um das Stäbchen wieder in seine vorige Lage zurückzubringen. Die Drehung des Fadens ist nun ein Maaß für die Stärke der Abstoßung. Mit einer Wismuthstange machte Becquerel diese Messung bei verschiedenen Stromstärken, welche an einer Sinusbussole gemessen wurden. Es ergaben sich folgende Resultate, wobei zu bemerken ist, daß das Wismuthstäbchen nicht in Luft, sondern in Wasser hing.

Fig. 273.



Abstoßung des Wismuths = m.	Ablenkung der Sinusbussole = i.	$sin.\ i^2$.	$\frac{m}{sin.\ i^2}$.
312,1°	40° 2′	0,4138	754
107,35	21 52	0,1387	774
32,1	11 45	0,0415	774

Man sieht aus dieser Tabelle, daß sich die Abstoßung des Wismuths verhält wie das Quadrat der Stromstärke. Da nun bekanntlich (wenigstens bis zu gewissen Grenzen) die Anziehung eines Eisenstabes durch einen Magneten ebenfalls dem Quadrate der magnetischen Kraft der Pole proportional ist, so schließt Becquerel, daß der Magnetismus und der Diamagnetismus in gleicher Weise von der Stärke der Magnetpole abhängen, daß sie also bei wachsender Stromstärke stets in gleichem Verhältniß zunehmen müssen.

Gleiche Resultate erhielt Becquerel auch mit einem Schwefelstäbchen.

Die Zuverlässigkeit der Versuche Becquerel's ist wohl kaum in Zweifel zu ziehen, allein eben so wenig liegen Gründe vor, die Plücker'schen Resultate für unrichtig zu halten. Der scheinbare Widerspruch läßt sich wohl auf folgende Weise lösen.

Durch meine Versuche über die Gesetze des Elektromagnetismus habe ich dargethan, daß eine jede Eisenmasse nur bis zu einem bestimmten Maximum magnetisirt werden kann. Je größer die Masse des zu magnetisirenden Eisens ist, desto größere magnetisirende Kräfte sind nöthig, um diesem Maximum nahe zu kommen; kleine Eisenmassen können dagegen schon durch geringe magnetisirende Kräfte ihrem magnetischen Maximum nahe gebracht werden, und in diesem Falle wird natürlich auch eine bedeutende Verstärkung der magnetisirenden Kraft kaum eine merkliche Vermehrung des Magnetismus in den kleinen Eisenmassen zur Folge haben. — Bedenken wir nun, welche geringe Massen magnetischer Substanzen in den Körpern vertheilt sind, mit welchen Plücker experimentirte, so dürfen wir wohl annehmen, daß dieselben schon bei geringerer Stromstärke nahe bis zu ihrem Maximum magnetisirt sind, daß also die Variationen der Stromstärke keinen bedeutenden Einfluß mehr auf sie ausüben können, während die ungleich größere Masse der diamagnetischen Substanzen noch viel weiter von ihrem Maximum diamagnetischer Erregung entfernt sind, weshalb denn auch der Diamagnetismus der Substanz noch mehr zu der Stromstärke proportional wachsen kann.

275 **Einfluß der Umgebung auf magnetische und diamagnetische Wirkungen.** Schon Faraday hat nachgewiesen, daß das Verhalten eines Körpers zwischen den Magnetpolen wesentlich davon abhängt, in welches Fluidum er eingetaucht ist; ein Körper, welcher sich in Luft axial stellt, kann unter Umständen in einer Lösung von Eisenvitriol die äquatoriale Stellung annehmen. Becquerel theilt in der eben besprochenen Abhandlung auch eine Reihe hieher gehöriger Versuche mit; er bestimmte nämlich mittelst der Drehwage die Abstoßung irgend eines diamagnetischen Stäbchens, wenn es in verschiedene Flüssigkeiten eingetaucht ist. Mit einem Schwefelstäbchen von 25^{mm} Länge erhielt er folgende Resultate:

Abstoßung des Schwefelstäbchens			Ablenkung der Sinusbouſſole.
in Luft	—	37°	. . . 39°
» Waſſer	—	4	. . . 40
» Löſung von Chlormagneſium	+	2,5	. . . 38
» conc. Löſung von Eiſenchlorür	—	1844	. . . 36
» Löſung v. ſchwefelſ. Nickeloxyd	—	41	. . . 23

Die abſtoßende Kraft iſt durch die Drehung des Silberfadens gemeſſen; das Zeichen — bezeichnet Abſtoßung, + dagegen bezeichnet Anziehung.

Das Geſetz der Modification, welches die magnetiſche Anziehung oder Abſtoßung durch das Fluidum erleidet, in welches der zu prüfende Körper eingetaucht iſt, wird von Plücker in folgender Weiſe formulirt (Pogg. Ann. LXXVII, 580):

Die Anziehung eines magnetiſchen Körpers, der in eine magnetiſche oder diamagnetiſche Flüſſigkeit eingetaucht wird, nimmt gerade ſo viel ab oder zu, als die magnetiſche Anziehung oder Abſtoßung der aus der Stelle vertriebenen Flüſſigkeit vor dem Entweichen betrug. Die Abſtoßung eines in dieſelbe Flüſſigkeit eingetauchten diamagnetiſchen Körpers nimmt gerade um ſo viel zu oder ab, als die magnetiſche Anziehung oder diamagnetiſche Abſtoßung der aus der Stelle vertriebenen Flüſſigkeit betrug.

Zur Beſtätigung dieſes Verhaltens führt Plücker noch den folgenden Verſuch an, daß ein gegen den Magneten wenig empfindliches Aräometer (z. B. ein ſolches, welches mit einer dünnen, zum Theil mit Queckſilber gefüllten Glaskugel gebildet iſt) entſchieden ſteigt oder ſinkt, wenn es in eine Löſung von Eiſenchlorid oder Eiſenvitriol oberhalb oder unterhalb der beiden genäherten Pole eines ſtarken Elektromagneten gebracht wird. Eine entgegengeſetzte Wirkung tritt in diamagnetiſchen Flüſſigkeiten ein.

Becquerel gelangt nun, auf dieſe Erſcheinungen bauend, zu einer eigenthümlichen Theorie des Diamagnetismus. Er läßt den Diamagnetismus als ſolchen gar nicht mehr gelten, ſondern nimmt an, daß alle Körper nur in ungleichem Maaße magnetiſch ſind; die Abſtoßung eines Körpers durch einen Magnetpol erfolgt dann, wenn er von einem noch ſtärker magnetiſchen Mittel umgeben iſt. Da nun aber ein Wismuthſtäbchen ſelbſt im Vacuum noch von den Magnetpolen abgeſtoßen wird, ſo iſt er zu der kühnen Hypotheſe genöthigt, daß das Vacuum wenigſtens noch ſtärker magnetiſch ſey als das Wismuth!!

Ich zweifle daran, daß dieſe Theorie viel Beifall unter den Phyſikern finden wird.

276 **Einfluß der Krystallisation auf die diamagnetischen Erscheinungen.** Die ersten hierher gehörigen Beobachtungen wurden von Plücker gemacht; sie sind der Hauptsache nach bereits in der 3ten Auflage meines Lehrbuchs der Physik (2ter Bd. S. 692) mitgetheilt worden; wir wollen hier nur noch die weitere Entwickelung des Gegenstandes verfolgen.

An die ersten Beobachtungen Plücker's schließen sich zunächst die Untersuchungen Faraday's über das Verhalten des krystallisirten Wismuths an (Pogg. Ann. LXXVI, 144; Phil. Magaz. 1849. Jan. pag. 73). Er hatte an Wismuthstäbchen, welche durch Gießen in Glasröhren gemacht worden waren, anomale Erscheinungen wahrgenommen, welche er dem krystallinischen Zustande derselben zuschreiben zu müssen glaubte.

Dies veranlaßte Faraday, Versuche mit gut krystallisirten Wismuthstücken anzustellen, und es ergab sich dabei, daß die Hauptspaltungsrichtung sich stets äquatorial zu stellen strebt.

Nach Rose's neueren Untersuchungen gehört das Wismuth dem heragonalen Krystallsystem an; was man früher für einen Würfel nahm, ist ein Rhomboeder; unter den verschiedenen Spaltungsrichtungen ist eine besonders ausgezeichnet und diese steht auf der krystallographischen Hauptaxe des Rhomboeders rechtwinklig. Nach Faraday's Versuchen hat also die krystallographische Hauptaxe des Wismuthrhomboeders ein Streben, sich axial zwischen die beiden Pole des Elektromagneten zu stellen. Dieses Bestreben macht sich in der Weise geltend, daß eine Säule von krystallisirtem Wismuth, deren Hauptspaltungsfläche mit ihrer Basis zusammenfällt, sich selbst bei entschieden vorherrschenden Längendimensionen axial stellt.

Faraday nennt die Richtung des krystallisirten Wismuths, welche sich axial zu stellen strebt, die Magnekrystallaxe.

Aehnliche Erscheinungen beobachtete er beim krystallisirten Antimon, Arsen u. s. w.

Plücker wiederholte diese Versuche mit gleichem Erfolge (Pogg. Ann. LXXVI, 576).

Krystalle des regulären Systems haben keine von den anderen ausgezeichnete Spaltungsrichtung, bei ihnen kann sich also auch keine Erscheinung der Art zeigen, wie wir sie oben betrachtet haben.

Plücker ließ geschmolzenes Wismuth langsam zwischen den Magnetpolen krystallisiren. Nach dem Erstarren zeigte sich, daß die Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit entschieden vorherrschend nach der äquatorialen Richtung lagen.

Eine Holzkohle wurde so ausgehöhlt, daß der innere Raum ungefähr 6^{mm} Durchmesser hatte und doppelt so lang war. In diese Höhlung wurde geschmolzenes Wismuth gegossen, welches ungefähr nach einer Minute erstarrte. Befand sich das Wismuth während des Erstarrens außer dem

Bereiche des Magneten, so zeigte das aus demselben gebildete Stäbchen später keine magnekrystallische Wirkung, es verhielt sich rein diamagnetisch und stellte sich äquatorial. War aber die Kohle so zwischen die Magnetpole gestellt, daß das Wismuthstäbchen während seiner Erkaltung eine axiale Stellung hatte, so stellte es sich später an einem Seidenfaden aufgehängt gleichfalls axial. Es geht daraus hervor, daß eine Wismuthmasse, welche zwischen den Magnetpolen erstarrt ist, später an einem Faden aufgehängt, zwischen den Polen wieder dieselbe Stellung einzunehmen strebt, welche es während des Erkaltens hatte.

Theoretische Ansichten über das Verhalten der Krystalle zwischen Magnetpolen. 277 Nachdem Plücker das eigenthümliche Verhalten der Krystalle zwischen den Magnetpolen entdeckt hatte, suchte er es alsbald durch eine Einwirkung der Magnetpole auf die optischen Axen zu erklären.

In einem Briefe an Faraday formulirte Plücker das opto-magnetische Gesetz in folgender Weise: »Die optischen Axen werden durch die »Pole eines Magneten entweder abgestoßen oder angezogen, je nach »dem krystallinischen Gefüge der Krystalle. Ist der Krystall ein negativer, »so findet Abstoßung statt; ist er dagegen ein positiver, so erfolgt »Anziehung« (Phil. Mag. Vol. XXXIV, pag. 450. Pogg. Annalen LXXVII, 447).

Gegen diese Theorie sind nun Knoblauch und Tyndall aufgetreten (Pogg. Ann. LXXIX, 233. Phil. Mag. XXXVI, 178). Zunächst führen sie einige Erscheinungen an, welche mit Plücker's Ansicht unvereinbar sind.

Aus 11 parallel mit der Axe geschliffenen Kalkspathplatten wurden kreisrunde Scheiben gemacht und diese horizontal aufgehangen. Zwischen den Polen des Elektromagneten stellten sich fünf dieser Platten so, daß die optische Axe in der That die äquatoriale Lage annahm; bei den übrigen sechs Platten dagegen stellte sich, der Plücker'schen Ansicht entgegen, die optische Axe entschieden axial.

Um zu erfahren, ob die Masse dieser Krystalle magnetisch oder diamagnetisch sey, wurden sie gepulvert und aus dem nassen Pulver cylindrische Stäbchen geformt. Nachdem diese wieder getrocknet waren, zeigten sich diejenigen, welche aus den fünf ersten Krystallen gebildet waren, diamagnetisch, die sechs anderen Stäbchen dagegen stellten sich axial, sie waren also magnetisch.

Am Schlusse ihrer Abhandlung sprechen nun Knoblauch und Tyndall ihre Ansicht dahin aus, daß die von ihnen am Kalkspath beobachteten Erscheinungen sich darauf zurückführen lassen, daß die diamagnetischen

Exemplare in der Spaltungsrichtung ſchwächer diamagnetiſch, die magnetiſchen in jener Richtung ſchwächer magnetiſch ſind.

Unterdeſſen hat jedoch Plücker ſelbſt ſeine Anſicht in zwei Abhandlungen modificirt, von denen die eine als Univerſitätsprogramm im Auguſt 1849 erſchien, während die zweite im December deſſelben Jahres der königl. niederländiſchen Societät übergeben wurde. — Auch ſeine Experimentalunterſuchungen hat Plücker in Gemeinſchaft mit Beer fortgeſetzt, und in einem Aufſatze »über die magnetiſchen Axen der Kryſtalle« (Pogg. Ann. LXXXI, 115) veröffentlicht. Der theoretiſche Standpunkt, welchen Plücker in dieſer Abhandlung einnimmt, iſt durch folgende Stelle bezeichnet:

»Unter der inducirenden Wirkung eines Magnetpols wird jedes kleinſte »Theilchen eines Kryſtalles polar magnetiſch oder polar diamagnetiſch. Aber »die Polarität tritt auf, nicht wie bei der gewöhnlichen Induction, nach »einer veränderlichen Richtung, die bloß nach der Lage der Pole beſtimmt »wird, ſondern je nach der Kryſtallform nach einer oder mehr als einer »feſten Richtung. Solche Richtungen, die in dem Kryſtalle durch die Form »derſelben gegeben ſind, habe ich die magnetiſchen Axen des Kryſtalls »genannt.«

Kryſtalle des regulären Syſtems haben keine ſolche magnetiſche Axe.

Die optiſch einaxigen Kryſtalle haben eine magnetiſche Axe, welche mit der kryſtallographiſchen Hauptaxe (alſo auch mit der optiſchen) zuſammenfällt. Stellt ſich die magnetiſche Axe zwiſchen den Magnetpolen axial, ſo nennt Plücker den Kryſtall magnetiſch poſitiv; er nennt ihn magnetiſch negativ, wenn ſich die magnetiſche Axe zwiſchen den Magnetpolen äquatorial ſtellt.

Wenn aus einem magnetiſch einaxigen Kryſtall ein Cylinder gebildet iſt, deſſen Axe mit der magnetiſchen Axe zuſammenfällt, und wenn er dann ſo aufgehängt iſt, daß die magnetiſche Axe vertical ſteht, alſo die Umdrehungsaxe bildet, ſo zeigt der Kryſtall kein Beſtreben mehr, ſich zu richten. — Anders bei den optiſch zweiaxigen Kryſtallen; werden ſie ſo aufgehängt, daß eine der drei Fresnel'ſchen Elaſticitätsaxen die verticale Umdrehungsaxe bildet, ſo ſtellt ſich der Kryſtall ſo, daß eine der beiden übrigen Elaſticitätsaxen eine axiale, die andere eine äquatoriale Lage annimmt. Plücker erklärt dies durch die Annahme von zwei magnetiſchen Axen, welche ähnlich liegen wie die optiſchen Axen, und welche entweder angezogen oder abgeſtoßen werden, wonach dann die magnetiſch zweiaxigen Kryſtalle ebenfalls in poſitive und negative zu theilen ſind.

In demſelben Bande von Poggendorff's Annalen, welcher den eben beſprochenen Aufſatz Plücker's enthält, finden wir aber auch eine neue Arbeit von Knoblauch und Tyndall, welche den Gegenſtand in ihrer Richtung weiter verfolgt haben (Pogg. Ann. LXXXI, 481).

Zunächst führen sie einige Beobachtungen an, welche der Annahme Plücker's widersprechen, welche derselbe auch noch in seinem letzten Aufsatze noch zu behaupten scheint, daß ein optisch positiver Krystall auch magnetisch positiv, ein optisch negativer auch magnetisch negativ sey. — Das gelbe Blutlaugensalz z. B. ist optisch positiv; seine optische Axe (oder wenn man es als zweiaxig betrachtet, die Mittellinie der beiden sehr nahe zusammenfallenden Axen) wird äquatorial gestellt.

Ganz eisenfreier Kalkspath ist diamagnetisch, die Richtung seiner optischen Axe wird äquatorial gestellt. — Enthält aber der Krystall etwas isomorphes kohlensaures Eisenoxydul, so stellt sich die optische Axe axial, und dies um so stärker, je bedeutender der Gehalt an magnetischer Substanz wird. Mit sehr großer Kraft stellt sich die Axe des Rhomboeders von Spatheisenstein axial, in welchem die diamagnetischen Bestandtheile gegen das kohlensaure Eisenoxydul fast ganz verschwinden. Noch weit kräftiger findet diese axiale Einstellung der Rhomboederaxe beim Eisenglanz statt, indem der nach Oeffnen der Kette in den Magnetpolen zurückbleibende Magnetismus hinreicht, diese Einstellung zu bewirken.

Knoblauch schließt daraus: daß diejenige Linie, welche bei einem rein diamagnetischen Krystall zwischen den Polen die äquatoriale Lage annimmt, mit desto größerer Kraft in die axiale Stellung gedreht wird, je mehr die diamagnetischen Bestandtheile des Krystalls durch isomorphe magnetische ersetzt werden; und ferner:

daß dieselbe Richtung, welche in einem rein diamagnetischen Krystall sich senkrecht auf die Verbindungslinie der Magnetpole einstellt, sich bei einem rein magnetischen Körper von gleicher krystallinischer Structur den Polen zuwendet.

Um über die Art und Weise der magnetischen Wirkung in allen diesen Fällen eine Vorstellung zu gewinnen, wurden folgende Versuche angestellt:

Wird aus dem feinen Pulver eines rein diamagnetischen Körpers, z. B. aus Mehl, mit Hülfe von etwas Gummiwasser ein vierkantiger Stab gebildet, so stellt sich dieser zwischen den Magnetpolen natürlich so, daß die Längenaxe äquatorial steht. Drückt man ihn in der Richtung seiner größeren Ausdehnung so weit zusammen, daß das Parallelepiped in einen Würfel übergeht, so stellt sich dieselbe Richtung, welche vorher äquatorial war, wieder nach derselben Richtung. Dies ist selbst dann noch der Fall, wenn die Zusammendrückung in demselben Sinne wie zuvor so weit fortgesetzt worden, daß aus dem Würfel eine dünne Platte entstanden ist, so daß also die Ebene der Platte axial steht. Es tritt hier die Erscheinung auf, daß eine rein diamagnetische unkrystallinische Scheibe, deren jedes

Theilchen vom Magneten abgeſtoßen wird, ſich zwiſchen den Polen axial ſtellt. Dieſe Erſcheinung erklärt ſich durch die Annahme, daß die diamagnetiſche Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die materiellen Theile des Körpers einander näher gerückt worden ſind, größer iſt.

Ein nicht comprimirter Würfel derſelben Subſtanz zeigte keine richtende Kraft.

Wurde dem Mehle fein gepulvertes kohlenſaures Eiſenoxydul beigemiſcht, ſo ſtellte ſich ein aus dem Gemenge gebildeter Stab axial. Drückte man ihn auf die angegebene Weiſe zuſammen, ſo nahm die entſtehende Platte eine äquatoriale Lage an, die Richtung der Compreſſion blieb alſo axial. Derſelbe Verſuch ließ ſich mit reinem kohlenſauren Eiſenoxydul anſtellen. Wir ſehen hier den Fall eintreten, daß eine magnetiſche Scheibe, deren Maſſe durchweg vom Magneten angezogen wird, ſich äquatorial ſtellt. Die Erſcheinung beruht einfach darauf, daß die magnetiſche Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die Theile einander genähert wurden, verſtärkt worden iſt.

Daraus läßt ſich ſchließen, daß überhaupt in diamagnetiſchen wie in magnetiſchen Körpern, deren Theile nicht nach allen Seiten hin gleich weit von einander abſtehen, die (diamagnetiſche oder magnetiſche) Wirkung, welche ſich an ihnen zwiſchen den Polen kund giebt, immer in der Richtung am ſtärkſten iſt, in welcher die materiellen Theile am nächſten bei einander ſind.

Von dieſem Geſichtspunkte ausgehend, verfertigten Knoblauch und Tyndall aus einem Pulver von chemiſch reiner kohlenſaurer Kalkerde, dem als Bindemittel etwas Gummiwaſſer hinzugefügt, und das (während des Trocknens) in einem Schraubſtock nach einer Richtung ſtark zuſammengepreßt worden war, ein Rhomboeder von der Form des Kalkſpathes mit der Rückſicht, daß die Axe dieſes Rhomboeders mit derjenigen Richtung zuſammenfiel, in welcher die Theile des kohlenſauren Kalkes beim Zuſammendrücken einander genähert worden waren.

Ein ſolcher verhielt ſich nun zwiſchen den Magnetpolen in allen Beziehungen genau eben ſo, wie ein diamagnetiſches Kalkſpathrhomboeder.

Bei den Kryſtallen der drei letzten Kryſtallſyſteme laſſen ſich die Erſcheinungen, welche dieſelben zwiſchen den Magnetpolen darbieten, durch die Annahme erklären, daß in ihnen die (magnetiſche oder diamagnetiſche) Wirkung nach einer Richtung hin ein Maximum, nach einer zweiten aber ein Minimum iſt, während nach der auf dieſen beiden ſenkrechten Richtung die Wirkung zwiſchen dieſen beiden Extremen liegt. — Knoblauch und Tyndall ahmten die magnetiſchen Erſcheinungen optiſch zweiaxiger Kryſtalle dadurch nach, daß ſie einen Teig von Wismuthpulver zwiſchen

Glasplatten in zwei auf einander ſenkrechten Richtungen mit ungleicher Kraft preßten.

Am Schluſſe dieſer Abhandlung bemerken Knoblauch und Tyndall, daß ihnen die neueſte Plücker'ſche Abhandlung erſt zu Geſicht kam, als ſie im Begriff ſtanden, die ihrige abzuſenden. Sie behalten ſich vor, die von den ihrigen abweichenden Anſichten von Plücker und Beer bei einer ſpäteren Gelegenheit zu beſprechen.

Die Acten über dieſen intereſſanten Gegenſtand ſind alſo noch keineswegs geſchloſſen, und deshalb läßt ſich auch noch kein definitives Urtheil über die einander entgegen tretenden Theorien fällen, obgleich ich nicht verhehlen kann, daß mir die Anſichten Knoblauch's ſchon ihrer größeren Einfachheit wegen einen Vorzug zu verdienen ſcheinen.

Zehnter Abſchnitt.

Thieriſche Elektricität.

Einleitung.

278 Auf dem Gebiete der thieriſchen Elektricität hat unſere Erkenntniß ſehr bedeutende Fortſchritte gemacht. Unter allen denen aber, welche dieſen Gegenſtand bearbeitet haben, iſt ſicher Du Bois-Reymond derjenige, welcher das Bedeutendſte geleiſtet und die Wiſſenſchaft mit den gediegenſten Errungenſchaften bereichert hat. Nicht allein eine Menge der wichtigſten Thatſachen hat er entdeckt, ſondern auch, mit kritiſchem Scharfblick den Zuſammenhang der Erſcheinungen verfolgend, präciſe Geſetze da nachgewieſen, wo bisher die größte Verwirrung herrſchte.

Du Bois hat die Reſultate ſeiner Jahre lang fortgeſetzten Unterſuchungen in einem Werke niedergelegt, welches zu Berlin unter dem Titel »Unterſuchungen über thieriſche Elektricität« in den Jahren 1848 und 1849 erſchienen iſt. Leider iſt es noch nicht vollendet, indem bis jetzt nur der erſte Band und die erſte Hälfte des zweiten vorliegt.

Dies Werk macht uns vollſtändig mit den neueren Fortſchritten der Elektrophyſiologie bekannt, indem es außer den eigenen Unterſuchungen des Verfaſſers auch die Arbeiten anderer Gelehrten auf dieſem Felde ausführlich beſpricht; wenn ich alſo im Folgenden das Weſentlichſte ſeines Inhaltes berichte, ſo dürfte wohl damit der Zweck unſers Berichtes vollſtändig erreicht ſeyn.

Du Bois ſchickt ſeinen eigenen Unterſuchungen eine hiſtoriſche Einleitung voraus, in welcher er bis auf die erſten Unterſuchungen Galvani's zurückgeht, was um ſo zweckmäßiger iſt, als die Geſchichte jener für die Elektricitätslehre ſo wichtigen Epochen bisher meiſt einſeitig im Sinne des Voltaismus dargeſtellt wurde, dann aber auch weil durch die im

Jahre 1841 durch das Institut von Bologna erfolgte Herausgabe der „Opere edite ed inedite del Professore Luigi Galvani etc.“ neue, für diese Angelegenheit wichtige Documente bekannt geworden sind.

Wer diese Einleitung gelesen hat, wird das Buch schwerlich ohne Befriedigung aus der Hand legen. Du Bois hat mit dem größten Fleiße die Quellen studirt und berichtet mit lobenswerther Gewissenhaftigkeit; dabei ist das Bild, welches er vor dem Leser von jener für die Physik so denkwürdigen Zeit entfaltet, eben so lebendig und anziehend gemalt, wie es wahr und scharf gezeichnet ist.

Ich kann es mir nicht versagen, hier eine Stelle wörtlich anzuführen, in welcher das Verhältniß Galvani's und Volta's zu der sich neu entwickelnden Lehre sehr schön geschildert wird.

»Niemand, der Galvani's Schriften gelesen hat, wird ohne Ehr»furcht von dem schlichten Bilde des Mannes scheiden, dessen rastlosem, »wenngleich dunklem Streben und naiver Wißbegier solche Früchte zu »tragen beschieden war. Jeder wird ihn gern entschuldigen, daß er den »Weg eingeschlagen hat, den wir ihn alsbald werden gehen sehen. Der »von ihm entdeckte Thatbestand war einer Gleichung von zweien Unbe»kannten zu vergleichen, deren eine das jetzige, durch Volta geschaffene »Gebiet des Galvanismus, die andere aber wirklich die thierische Elek»tricität war, welche nunmehr, nach einem halben Jahrhundert ihr Recht »fordernd, abermals in die Schranken tritt. In der That, Galvani »hat, wie den physiologischen Grundversuch des eigentlichen Galvanismus, »so den der elektrischen Muskel- und Nervenphysik entdeckt: den ersten »wie den letzten noch dazu gehüllt in ein Chaos von Bedingungen, wo»durch die Erfolge in beiden Fällen als gleich wesentlich abhängig von den »thierischen Theilen selbst dargestellt wurden. Anatom und Physiolog »vom Fach, erfüllt von der damals geläufigen Vorstellung einer thieri»schen Elektricität, die er sogar im anatomischen Theater seinen Zuhörern »vortrug, war es kein Wunder, wenn er das dargebotene Räthsel vorzugs»weise von dieser Seite anzugreifen suchte, an welche sich bereits ein rei»ches Gebiet des Verständnisses anzuknüpfen schien. Allein auch Volta »schwärmte für denselben Gedanken; durch die vielen Enttäuschungen, die »in dieser Beziehung bereits stattgefunden hatten, mißtrauisch gemacht, »ging er, nach seinem eigenen Ausdruck, so wie er nur die neuen Wunder »selbst mit Händen gegriffen hatte, vom Unglauben zum Fanatismus »über. Dies verhinderte ihn jedoch nicht, die glänzenden Aussichten, die »sich durch Galvani's Entdeckungen für die Muskel- und Nervenphysik »eröffnet zu haben schienen, unbedenklich fahren zu lassen, als er, dem »damaligen Thatbestande gegenüber, das Unhaltbare derselben entdeckt zu »haben glaubte. Niemand, der mit unpartheiischem Blick jene Geschichte

»und das Verdienſt ihrer Häupter zu würdigen wünſcht, wird es wagen, »Galvani und Volta auf eine Stufe zu ſtellen und die rieſenhafte »Ueberlegenheit dieſes Phyſikers über alle ſeine Mitarbeiter und Gegner, »insbeſondere über die Bologneſer Schule, einen Augenblick zu verken»nen. Nicht leicht möchte ſich in einer Natur wieder dieſer Reichthum »an unvergleichlichen Forſchergaben vereinigt finden, wie in Volta's: »dieſes, um mit Dove zu reden, »»unbegreifliche Talent,«« das »Weſentliche vom Unweſentlichen in einer verwickelten Erſcheinung zu »befreien; dieſe Kühnheit der Erfindung, welche dem Verſuch vorangeht, »gebändigt durch die ſtrengſte und umſichtigſte Methode; dieſer unabläſſig »rege Sinn des Beobachters, dem kein Umſtand entſchlüpft; endlich ne»ben ſo viel Feinheit ſo viel Einfalt und Großartigkeit der Anſchauung, »neben ſolchem Denkerkopfe ſo die Hand des Mechanikers. Seltſam iſt »es nur, daß es eine deutſche Stimme ſeyn muß, welche über die Alpen »hinüber einen italiäniſchen Gelehrten wegen Verunglimpfung der Größe »Volta's zur Ordnung ruft.«

Hier iſt Gherardi gemeint, welcher größtentheils die Redaction der oben erwähnten Sammlung von Galvani's Werken beſorgte und welcher ſich in einem vorausgeſchickten »Rapporto« bemüht, Galvani um jeden Preis, ſelbſt auf Koſten Volta's, als eine der bedeutendſten und hervorragendſten Perſönlichkeiten geltend zu machen.

Nachdem Galvani an einem präparirten Froſch den Rückſchlag beobachtet hatte, welchen ein aus dem Conductor der Elektriſirmaſchine gezogener Funke hervorbringt, unterſuchte er den Rückſchlag durch den Blitz. Dieſe Verſuche beſchäftigten ihn während des Sommers 1786. Im Herbſte deſſelben Jahres ſuchte er die Wirkung der atmoſphäriſchen Elektricität bei nicht gewitterndem Himmel auf die präparirten Schenkel zu ermitteln. Es war am Abend des 20. Septembers, daß Galvani jene folgereiche Beobachtung von Zuckungen machte, welche den Ausgangspunkt für die neuere Elektricitätslehre bildet.

Dieſe Verſuche und die daran geknüpften Folgerungen veröffentlichte Galvani erſt im Jahre 1791 in ſeiner berühmten Schrift: »De viribus Electricitatis in motu musculari Commentarius.« In dieſem Commentar wird der Verſuch als mit kupfernen (aereus) Haken angeſtellt angegeben, während ſich in Galvani's hinterlaſſenen Papieren der Entwurf einer Abhandlung befindet, gezeichnet vom 30. October 1786, in welchem nur von eiſernen Haken die Rede iſt. Dies rührt wohl unſtreitig daher, daß Galvani im Lauf der Verſuche die Ueberlegenheit des ungleichartigen Metallbogens kennen gelernt hatte und daß er wünſchte, etwaigen Wiederholungen ſeines erſten Verſuchs in der urſprünglichen Geſtalt die möglichſte Sicherheit zu geben.

Auf dem Umschlag der Tagebücher, die seine ersten galvanischen Versuche vom September 1786 enthalten, findet man von Galvani's eigener Hand die Aufschrift: »Esperimenti circa l'Electricitate de' metalli.« Er hatte also anfangs eine richtigere Vorstellung über die Quelle der Elektricität, welche die von ihm entdeckte Zuckung hervorbrachte, allein schon die Abhandlung vom 30. October hat die Aufschrift: »de animali Electricitate.«

Nach Galvani's Theorie sind die Muskeln die vorzüglichsten Behälter der thierischen Elektricität. Sie stellen gleichsam eine Leidner Flasche dar und zwar ist ihre äußere Oberfläche negativ, in ihrem Innern ist dagegen die positive Elektricität angehäuft. Der Nerv ist der Conductor dieser Flasche, der neben den Blutgefäßen die Muskeln mit Elektricität versieht.

»Der Sturm«, sagt Du Bois, »welchen das Erscheinen des Com»mentars in der Welt der Physiker, der Physiologen und Aerzte erregte, »kann nur mit dem verglichen werden, der zu derselben Zeit (1791) am »politischen Horizont Europas heraufzog. Man kann sagen, wo es Frö»sche gab und wo sich zwei Stücke ungleichartigen Metalls erschwingen »ließen, wollte Jedermann sich von der wunderbaren Wiederbelebung der »verstümmelten Gliedmaßen überzeugen; die Physiologen glaubten ihren »hergebrachten Traum einer Lebenskraft mit Händen zu greifen, den »Aerzten, denen Galvani selbst bereits mit Erklärungsversuchen von »allerlei Nervenkrankheiten, Ischias, Tetanus und Epilepsie nur allzu »leichtfertig vorangegangen schien, keine Heilung mehr unmöglich und zum »wenigsten scheintodt konnte niemand mehr begraben werden, der zuvor »galvanisirt worden war«

Am lebhaftesten war natürlich die Aufregung in Italien selbst und namentlich in Volta's Umgebung. In vieler Beziehung erscheint gerader er berufen, die Untersuchung aufzunehmen, weil er schon die feinsten elektrischen Untersuchungen durchgeführt und namentlich am Elektrophor und dem Condensator eine Schule durchgemacht hatte.

Nachdem sich Volta von der Richtigkeit der Thatsache überzeugt hatte, faßte er sie Anfangs ganz im Sinne Galvani's auf, allein er gab seinen Untersuchungen sogleich eine mehr physikalische Richtung. Volta wieß nach, daß das Froschpräparat durch eine Ladung der Kleist'schen Flasche erschüttert werde, die kaum $0{,}1^0$ des Bennet'schen Goldblattelektrometers betrage und nur mit Hülfe seines Condensators wahrgenommen und bestimmt werden könne. Den Froschschenkel selbst, nach Galvani's Ansicht, als eine Leidner Flasche betrachtend, suchte er die Stärke ihrer Ladung zu ermitteln; er vergleicht sie mit 0,05 höchstens 0,1 Grad seines Strohhalmelektrometers. Um das Zeichen der Vertheilung in Bezug

auf Nerv und Muskel zu beſtimmen, entlud er durch den Froſch eine ganz ſchwach geladene Flaſche bald in der Richtung von der Wirbelſäule zu den Muskeln, bald im umgekehrten Sinn, und fand, daß im erſten Falle Zuckungen erfolgten, im zweiten nicht, und ſchloß daraus, daß im erſten Falle der Entladungsſtrom der ſchwach geladenen Flaſche und des Froſchſchenkels gleiche, im zweiten Falle aber entgegengeſetzte Richtung habe, daß alſo, Galvani's Anſicht entgegen, der Nerv negativ, die Außenfläche des Muskels aber poſitiv ſey.

Hier hat nun Volta wirklich das Richtige durch Zufall getroffen, denn die eben angeführte Erſcheinung hat, wie wir weiter unten ſehen werden, einen ganz andern Grund.

Nun aber wird Volta an Galvani's Deutungsart irre. Er findet, daß unter weniger günſtigen Umſtänden die Zuckung nur noch durch Metallbogen hervorgebracht werden kann, welche aus ungleichartigen Metallen zuſammengeſetzt ſind. Er ging darauf aus, am lebenden menſchlichen Körper durch denſelben Kunſtgriff ungleichartiger Metallbewaffnung Zuckungen zu erregen; er belegte die obere und untere Seite der Zunge reſpective mit Zinn und Silber und fand, als die beiden Metalle in Berührung gebracht wurden, ſtatt der erwarteten Muskelbewegung eine ſeltſame Geſchmacksempfindung. So brachte Volta zum erſtenmale den alten Sulzerſchen Geſchmacksverſuch in ſeine natürliche Verkettung. — Hier konnte alſo nicht von einer Entladung die Rede ſeyn, ſondern von einem noch dunklen Spiel der Wirkungen ungleichartiger Metallbelege, welches ſich während der ganzen Dauer des Geſchloſſenſeyns unabläſſig erneuert.

Volta ſprach nun ſeine Anſicht dahin aus, daß die Mehrzahl der galvaniſchen Erſcheinungen mit einer thieriſchen Elektricität nichts zu ſchaffen hätte, ſondern daß die Zuckung von einer ſehr ſchwachen künſtlichen Elektricität herrühre, welche durch das Anlegen ungleichartiger Metalle erzeugt würde. Alsbald ging er aber noch weiter, indem er behauptete, daß ſelbſt in ſolchen Fällen, wo man glaubte, es mit gleichartigen Metallen zu thun zu haben, irgend eine unbemerkt gebliebene Verſchiedenheit in der Oberfläche des Metalls die Urſache der Elektricitätsentwickelung geweſen ſey. Um zu zeigen, wie leicht ſich ſolche Verſchiedenheiten einſtellten, machte er den Verſuch mit einem wirklich gleichartigen eiſernen Bogen, d. h. mit einem ſolchen, welcher am Froſchſchenkel keine Zuckung hervorbrachte; das eine Ende dieſes Bogens wurde nun eine halbe Minute lang in ſiedendes Waſſer getaucht und vor der Abkühlung deſſelben der Verſuch am Froſchſchenkel wiederholt, und nun zeigte ſich die Zuckung. Daſſelbe ergab ſich durch Anlaſſen des einen Endes, während das andere hart blieb. Er ließ nun die Vorſtellung einer thieriſchen Elektri-

citât ganz fallen, indem er überall, wo Zuckungen beobachtet wurden, eine Heterogenität im Metallbogen als Ursache derselben annahm.

Wollte Galvani seine Theorie aufrecht erhalten, so mußte er Zuckungen mit absolut gleichartigen Metallbogen oder Zuckungen ohne Metalle hervorbringen. In der That versuchte er dieß, unterstützt von seinem Neffen Aldini, und wenn ihre Vertheidigung auch keineswegs in allen Theilen eine glückliche genannt werden kann, denn sie beweisen in derselben mehrmals, daß sie Volta's Einwürfe gar nicht richtig verstanden hatten, so führten ihre Bestrebungen dennoch dahin, daß Galvani wirklich Zuckungen ohne Metall hervorbrachte, welche man unbedenklich als von thierischer Elektricität herstammend anerkennen konnte. Wären er und seine Anhänger nun dabei stehen geblieben, diese und solche Zuckungen, welche bei wirklich homogenen Metallbogen entstehen, der thierischen Elektricität zu vindiciren, dabei aber anzuerkennen, daß die kräftigere Wirkung, welche man bei Anwendung ungleichartiger Metallbogen erhält, nach der Volta'schen Ansicht zu erklären sey, so wäre schon damals eine der Wahrheit entsprechende Ausgleichung des Streites möglich gewesen. Man wollte aber durchaus Galvani's Theorie über das ganze Gebiet der beobachteten Zuckungen ausdehnen und erklärte die größere Wirksamkeit ungleichartiger Metallbelege durch den Widerstand, den diese Art der Zusammensetzung des Bogens dem Durchgange der thierischen Elektricität entgegenstelle, wodurch denn eine stärkere Anhäufung und eine kräftigere Entladung derselben bewirkt werden sollte.

Die Versuche, um Zuckungen ohne Metalle zu erhalten, hat Galvani in mannichfacher Weise modificirt und in einer anonymen Schrift beschrieben, welche unter dem Titel: »Dell' uso e del attivita dell' Arco conduttore nelle contrazzione de' muscoli,« wahrscheinlich im Jahre 1794 erschienen ist. Sie fand nur eine geringe Verbreitung. — Manche der von Galvani angegebenen Formen des Versuchs sind nicht tadellos, die folgende aber kann wirklich als der Grundversuch der elektrischen Muskel- und Nervenphysik bezeichnet werden: Man schneide an dem Galvani'schen Froschpräparat die Nerven dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem Wirbelkanal ab, und ohne sie in irgend eine Flüssigkeit zu tauchen oder sonst einem verändernden Einfluß auszusetzen, bringe man sie mit der Außenfläche des einen Schenkels in Berührung, entweder indem man sie mit einem Nichtleiter aufhebt und dann wieder fallen läßt, oder indem man sie mit demselben sanft dagegen führt, und zwar, wo möglich nur gegen einen einzigen Punkt der Muskeln; sogleich würden die Schenkel zucken.

Ja Galvani brachte sogar den Schenkel zum Zucken, indem er den Nerven mit einem fremden Muskel in Berührung brachte, welcher mit

den Schenkeln gar nicht leitend verbunden war; er ließ den Nerven des nicht enthäuteten Präparats auf ein Stück Bauchmuskel fallen, welches, auf einer Glasplatte ruhend, ſonſt in keiner Verbindung mit dem Froſche ſtand, und der Schenkel zuckte. Wir werden den wahren Zuſammenhang dieſer Erſcheinung ſpäter kennen lernen.

Volta hebt nun dieſen Verſuchen gegenüber beſonders hervor, daß dieſe Zuckungen außerordentlich ſchwach ſind gegen diejenigen, welche durch ungleichartige Metalle entſtehen, daß ſie nur in ſeltenen Fällen höchſter Leiſtungsfähigkeit des Froſchpräparates auftreten, und ſuchte anfangs dieſe Zuckungen durch eine mechaniſche Reizung der Nerven zu erklären; doch geſtand er ſpäter ſelbſt ein, hier zu weit gegangen zu ſeyn, nachdem es ihm gelungen war, ſeine Theorie ſo zu modificiren, daß ſie auch dieſe Thatſache erklären konnte. Er ſagt, man könnte ſich nach dieſen Verſuchen veranlaßt finden, auf den Standpunkt zurückzukehren, welchen er im Sommer 1792 eingenommen hatte: nämlich einen Theil der Erſcheinungen auf Rechnung der Metalle bringen und die Zuckungen mit gleichartigen Bögen und ohne Metalle von einer wirklichen ächten, den thieriſchen Gliedern eingeborenen Elektricität herleiten. Aber warum, fragt er, einerlei Wirkung verſchiedene Urſache unterlegen? ſeine Grundſätze reichten hin, auch dieſe ſcheinbar davon abweichenden Reſultate zu deuten. Volta's Erklärung des fraglichen Phänomens kommt darauf zurück, daß zwei einander ungleichartige thieriſche Theile, z. B. Nerv und Muskel, durch Dazwiſchenkunft eines feuchten Leiters zur Kette vereinigt würden, denn, wenn der Verſuch gelingen ſoll, ſo darf der Schenkelmuskel, auf welchen man den Nerven legt, nicht ganz rein, ſondern er muß, wie dies auch ſeine Gegner anführen, mit Blut oder ſonſt einer zähen Flüſſigkeit verunreinigt ſeyn. Blieben die Zuckungen aus, ſo genüge es daher, um ſie zu erzeugen, die Theile, welche zur Berührung gebracht werden ſollte, mit Speichel, mit Salzwaſſer, mit Schleim u. ſ. w., noch beſſer aber mit Seifenwaſſer und am beſten mit ſtark ſauren oder alkaliſchen Flüſſigkeiten zu benetzen.

Nun, wo es um die thieriſche Elektricität wirklich bedenklich zu ſtehen ſcheint, tritt Humboldt für dieſelbe in die Schranken. In ſeinem berühmten Werke: »Verſuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaſer u. ſ. w. (Poſen und Berlin 1797), beſchreibt er eine Reihe von Verſuchen, welche Zuckungen von Froſchſchenkeln unter Umſtänden hervorbrachten, in welchen ſowohl der Verdacht der mechaniſchen Reizung als auch der Verunreinigung durch Blut, Schleim u. ſ. w. gänzlich beſeitigt war, indem nur Nerv und Muskelfleiſch in Berührung kamen. Humboldt faßt die Ergebniſſe ſeiner Verſuche folgendermaßen zuſammen: »Hier hatte ich alſo lebhafte Muskelbewegungen erregt

»1) indem ich die Lende eines Thieres gegen den »Ischiadnerven zurückbog, mit dem sie noch »organisch verbunden war;

»2) indem der Cruralnerv und sein Schenkelmus»kel mittelst eines abgeschnittenen Stückes »Cruralnerv zugleich berührt wurde, und

»3) indem thierische Theile eine Leitung von ei»nem Theile des Nerven zum andern bildeten.

»In dem ersten Falle war der Contact bloß unter solchen Theilen, »welche organisch mit einander verbunden waren. In den beiden letz»ten Fällen geschah derselbe mittelst getrennter Stücke, welche aber kurz »vorher noch dem gereizten Organe angehörten und entweder der sensibeln »oder irritabeln Fiber homogen waren.«

Ferner beweist Humboldt die Möglichkeit von Zuckungen mit wirklich gleichartigen Metallbogen. In Beziehung auf Volta's entgegenstehende Behauptungen sagt er: »Es ist unwidersprechlich wahr, und durch die »Beobachtungen des großen Ticinischen Naturlehrers erwiesen, daß »Thiere, bei denen homogene Metalle keine Convulsio»nen erregen, dieselben sogleich erleiden, wenn die Me»talle durch die leiseste Abänderung des Mischungsver»hältnisses, der Politur, Härte, Form, Temperatur, un»gleichartig gemacht werden. Dieses ist das Resultat jener Ver»suche, wie mir scheint, nicht aber der Satz, den Volta aufstellt: daß »nur unter der Bedingung einer Ungleichartigkeit in den »Metallen Muskelbewegungen erfolgen könne.«

So weiß Humboldt mitten im leidenschaftlichen Kampfe mit klarem Blick den richtigen Standpunkt aufzufinden.

Auch Galvani suchte noch in mehreren Briefen an Spallanzani die Verdächtigungen zu entkräften, welche Volta gegen die Zuckung ohne Metalle vorgebracht hatte, um alsbald vom Schauplatz abzutreten, indem er am 4. December 1798 starb, vielleicht ein Glück für ihn, ohne die Entdeckung der Säule und den dadurch herbeigeführten gänzlichen Untergang seiner Lehre zu erleben.

Aber auch Volta hatte unterdessen, auf seinem Wege vorwärtsstrebend, Riesenschritte gemacht. Bisher hatte er es noch ganz unentschieden gelassen, ob die Ursache des Stromes eher in der Berührung der Metalle unter sich, als in der Berührung der Metalle mit der Flüssigkeit zu suchen sey; ja er neigte sich sogar entschieden zu der Ansicht, die Berührungsorte der Metalle mit der Flüssigkeit seyen der Sitz des stromerregenden Vorganges. Erst später überzeugte er sich, daß bei der gewöhnlichen Art, die Galvani'schen Versuche anzustellen, wobei die Metalle an wässerige oder

ähnliche feuchte Leiter angelegt werden, weit mehr der wechselseitigen Berührung der Metalle, als ihrer Berührung mit dem feuchten Leiter zugeschrieben werden müsse, und nun folgt die berühmte Versuchsreihe, welche unter dem Namen der Volta'schen Fundamentalversuche bekannt ist, durch welche die Elektricitätserregung durch Berührung homogener Metalle experimentell nachgewiesen wurde.

Zu Ende des Jahres 1799 glückte ihm der Schritt, von dem er selbst sagt, daß er ein großer gewesen sey.

Es war die Entdeckung der Säule.

Durch die Säule war der Sieg seiner Ansichtsweise entschieden. Nur noch Aldini war für die verlorene Sache der thierischen Elektricität thätig und gab im Jahre 1804 ein Prachtwerk in französischer Sprache unter dem Titel „Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme" heraus. In diesem Werke führt er neben vielen ganz werthlosen Versuchen manche als neu an, welche längst von andern Naturforschern beschrieben waren, ja er geht so weit, ein Plagiat an Galvani zu versuchen, indem er sich die Entdeckung der Zuckungen ohne Metalle vindicirt. Mit Aldini's Werk tritt die thierische Elektricität für einen Zeitraum von 23 Jahren von der Bühne der Wissenschaft ab, denn bis zum Jahre 1827, wo Nobili die elektromagnetische Wirkung des Froschstroms darthat, treten nun noch einzeln stehende Bestätigungen des Grundversuchs ohne Metalle auf.

279 **Elektromagnetische Wirkungen des Froschstroms.** Oersted hatte im Jahr 1840 die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom entdeckt, welche alsbald zur Construction des Multiplicators führte, durch welchen, wie Du Bois treffend sagt, »die Metallelektricität in »den Stand gesetzt wurde, das Unrecht zu vergüten, dessen sie sich an ihrer »zarteren Zwillingsschwester in frühern Jahren schuldig gemacht.«

Nobili hatte durch Anwendung der Ampère'schen astatischen Doppelnadel dem Multiplicator einen bis dahin nicht geahnten Grad von Empfindlichkeit gegeben. Der erste Gebrauch, den er davon machte, war, daß er elektrische Ströme in den Nerven aufsuchte. Seine Bemühungen blieben vergeblich. Nobili wollte nun die Empfindlichkeit des Froschpräparats mit der seines Multiplicators vergleichen. Es ist ein alter Versuch, daß das Galvani'sche Froschpräparat zuckt, wenn man Wirbelsäule und Füße in zwei Gefäße mit Wasser oder Salzlösung taucht und diese leitend verbindet, etwa durch befeuchtete Asbest- oder Baumwollendochte. Als derselbe Strom, welcher das Froschpräparat zucken machte, auch durch den Multiplicator geleitet wurde, blieb aber die Nadel ruhig. Der schwache Strom also, welcher das Froschpräparat noch zucken macht, konnte die Nadel des Multiplicators nicht mehr bewegen.

Nun wandte Nobili allen Fleiß auf die Herstellung eines neuen, noch vollkommneren Multiplicators: jetzt erhielt er mit Salzlösung in den Gefäßen einen ersten Ausschlag von 10°, 20°, ja von 30°. Enthielten dieselben nur Wasser, so betrugen die Ausschläge nur wenige Grade, und auch diese Ausschläge verschwanden, als die Wasserstrecke verlängert wurde, während ein kräftiger Frosch unter diesen Umständen noch fortfuhr, durch schwache Zuckungen seine überlegene Empfindlichkeit darzuthun. — Die Ablenkung des Multiplicators war aber, wenn sie erfolgte, stets so gerichtet, daß er einen positiven Strom von den Muskeln zu den Nerven oder von den Füßen zum Kopf in dem Frosch anzeigte. Diesen Strom, denselben, welcher die Galvani'sche Zuckung ohne Metalle erzeugt, nennt Nobili „la corrente propria della rana"; wir nennen ihn Froschstrom.

Die wichtigsten Thatsachen, welche Nobili in Beziehung auf den Froschstrom ausmittelte, sind folgende:

Der Froschstrom ist nicht bloß im Augenblick der Schließung, sondern dauernd vorhanden; in einem einzelnen Falle erhielt Nobili 5° beständiger Ablenkung. — Die Wirkung wird verstärkt, wenn man mehrere Frösche, nach dem Gesetz der Säule geordnet, in den Kreis einführt; ein zweiter Frosch gab 8°, ein dritter gab 11° beständiger Ablenkung. — Das Daseyn des Stromes ist von der Fähigkeit des Frosches, mit Zuckung darauf zu antworten, völlig unabhängig, was daraus hervorgeht, daß die Multiplicatorwirkungen mehrere Stunden fortdauern, während die Zuckungen höchstens nach ¼ Stunde aufhören. Die Mehrzahl der frisch zubereiteten Frösche zeigt nur die Schließungszuckung, während bei sehr kräftigen auch die Oeffnungszuckung wahrgenommen wird; wenige zeigten nur die Oeffnungszuckung.

Was die Theorie des Froschstromes anlangt, so huldigte Nobili der Ansicht, diese Ströme seyen thermoelektrischen Ursprungs, und leitete sie aus der stärkeren Abkühlung her, welche die geringere Masse der Nerven im Verhältniß zu der geringeren Abkühlung der größeren Masse der Muskeln durch die Verdunstung erleiden.

Diesen Aussprüchen einer solchen Autorität ist es wohl beizumessen, daß die Entdeckung der elektromagnetischen Wirkung des Froschstroms so wenig Aufsehen erregte und einen so geringen Einfluß auf die Behandlung der thierischen Elektricität gewann.

Erst den Bestrebungen Matteuccis gelang es, die Bedeutung zur Einsicht zu bringen, welche der Froschstrom für die organische Physik hat. — Schon früher hatte er sich mit allerlei elektrisch-physiologischen Untersuchungen beschäftigt, deren Betrachtung wir übergehen, weil sie weder mit

unserm Gegenstande in näherer Beziehung stehen, noch an und für sich irgend nennenswerthe Resultate ergaben.

Sehr wahr charakterisirt Du Bois den Geist, welcher sich in allen Arbeiten Matteucci's kund giebt, in folgender Weise: »Dieselbe Untreue »der Natur, sich selbst und andern Forschern gegenüber, dieselbe Leichtfer»tigkeit in seinen Behauptungen und in seinen Hypothesen, welche mehr »geeignet scheinen Aufsehen zu erregen, als sich den Thatsachen anzuschmiegen; »dieselbe Lockerheit der Schlußfolgen, wodurch er verhindert wird, den »Vortheilen nachzugehen, womit ihn der Zufall während seiner langen mit »anerkennenswerther Emsigkeit geführten Forschungen mehrmals glänzend »beschenkte; endlich eine Vernachlässigung der Form, welche nicht durch »den Gebrauch einer fremden Sprache entschuldigt werden kann, da sie »sich mehr in der mangelhaften Gliederung des Stoffs und in der viel»deutigen Unbestimmtheit des Ausdrucks kund giebt: dies sind die Uebel»stände, welche wir im Laufe dieses Werkes noch häufig zu bekämpfen »haben werden.«

Es ist sehr zu bedauern, daß Matteucci diejenigen Entdeckungen und Forschungen, welche wirklich einen Werth für die Wissenschaft haben, in der leidigen Sucht, massenweise seine Aufsätze in die Welt zu schicken, so sehr mit Werthlosem und Irrigem verdünnt, publicirt hat, daß er aus Eitelkeit sich so viele Sünden gegen die Wahrheit zu Schulden kommen läßt; er veröffentlicht seine Untersuchungen größtentheils in verschiedenen Journalen Italiens, Frankreichs und Englands; meist findet man in seinen Aufsätzen einen geringen Gehalt an Neuem mit solchem zusammengestellt, was er schon an zehn andern Orten in etwas anderer Weise publicirt hat. In der Hast, eine neue Waare zu Markt zu bringen, muß er natürlich sehr häufig Unreifes und Irriges hinaussenden, er kommt daher sehr häufig in den Fall, daß er sich später selbst eines Bessern überzeugt. Aber Matteucci widerruft nie, die neue Ansicht wird publicirt, ohne der alten auch nur mit einer Silbe zu erwähnen, diese wird völlig ignorirt, nie corrigirt. Große Gewandtheit besitzt Matteucci darin, die Untersuchungen älterer und neuerer Naturforscher zu benutzen ohne sie zu nennen, und so sich mit fremden Verdiensten zu schmücken.

So scheinen denn Matteucci's Aufsätze mehr dazu gemacht, Aufsehen zu erregen als studirt zu werden; sie bilden ein Chaos, aus dem das Wahre und Werthvolle nur mit Mühe hervorgezogen werden kann. Kein Wunder ist es, wenn wir unter diesen Umständen sehen, wie Du Bois, nachdem er sich durch dieses Labyrinth durchgearbeitet hat, voll gerechten Ingrimms die Geißel über ein solches Treiben schwingt. Wir müssen Du Bois' Kritik, welche er in diesem Werke sowohl, als auch im Berliner Jahresbericht über Matteucci ergehen läßt, um so mehr als gerechtfer-

tigt erklären, als die Unarten, welche hier gezüchtigt werden und welchen sich Matteucci in so hervorstechendem Maaße schuldig macht, mehr oder weniger auch andern Naturforschern zur Last fallen, und es im Interesse der Wissenschaft wirklich wünschenswerth ist, dergleichen mehr und mehr ausgerottet zu sehen.

Becquerel hatte im Jahre 1836 eine Theorie der Zitterfische aufgestellt, der zu Folge sich die Elektricität im Moment des Schlages im Gehirn entwickelt und von hier aus dem elektrischen Organ zugeführt wird, um hier zur Ladung der kleinen Säulen zu dienen, aus denen es zusammengesetzt ist.

Matteucci bemächtigt sich dieses Gedankens; ohne Becquerel zu nennen, publicirt er diese Theorie in verschiedenen Journalen. In seinem „Traité des phénomènes électrophysiologiques des animaux 1844“ thut er derselben gar keine Erwähnung mehr, weil er wohl unterdessen die Unhaltbarkeit dieser Ansicht eingesehen hatte, ohne jedoch irgendwo klar und deutlich seine Meinungsänderung angezeigt zu haben.

Diese Theorie nun führte ihn zum Studium des Froschstroms. Er nahm an, die Elektricitätsentwickelung im Gehirn entspringe aus der Berührung des „élément nerveux“ und des „élément sanguin“, die sich im Gehirn befänden; und dieselben wirksamen Bestandtheile erblickte er im elektromotorischen Schenkel des Frosches, und sein Bestreben ging zunächst dahin, den Froschstrom von dem Verdacht eines gemeinen elektrochemischen oder thermoelektrischen Ursprungs zu befreien.

Die ersten Untersuchungen über den Froschstrom in Verbindung mit solchen über den Zitterrochen publicirte Matteucci im Jahre 1837. Im Jahre 1838 publicirte er einen für uns wichtigeren Aufsatz über den Froschstrom allein. Er bediente sich zu den Versuchen, welche in diesem Aufsatz besprochen werden, eines Multiplicators von 2500 Windungen mit Platinenden, die in zwei mit verdünnter Salzlösung gefüllte Porzellangefäße tauchten, die ich mit a und b bezeichnen will. a war mit einem dritten Gefäße c, b mit einem vierten d, welche gleichfalls verdünnte Salzlösung enthielten, durch dicke Baumwollendochte verbunden. Die Schließung der Kette geschah durch die Verbindung von c und d mittelst des Froschpräparates.

Die wichtigsten Resultate, die er hier mittheilt, sind folgende. Man erhält einen Strom, eben so stark wie den des Galvani'schen Präparates, wenn man den ganzen enthäuteten Frosch zum Versuch verwendet und die Füße in das eine, den Kopf oder Rücken in das andere Gefäß taucht. Mit dem Galvani'schen Präparat erhält man den Strom noch in ungeschwächter Stärke und immer in gleicher Richtung, wenn man, nachdem die Nerven ganz weggeschnitten sind, den Unterschenkel auf

der einen, den Oberſchenkel auf der anderen Seite eintaucht. — Was die Größe der Multiplicatorwirkung betrifft, ſo erhielt Matteucci bei Weglaſſung der beiden mittleren Gefäße einen Ausſchlag von 25—30°, und eine beſtändige Ablenkung von 3°, welche aber wegen der wachſenden Polariſation an den Platinplatten binnen einer viertel Stunde auf 2° ſank. Wurde nun nach Entfernung des Froſches die Kette durch einen Docht geſchloſſen, ſo erfolgte ein von der Ausgleichung der Polariſation herrührender Ausſchlag von 15 — 20 Graden nach der entgegengeſetzten Seite. — Weil der Froſchſtrom eine ziemlich dicke Schicht von Salzwaſſer durchdringe, ſo müſſe er, meinte Matteucci, auch einer elektrochemiſchen Wirkung fähig ſeyn (?), und verſuchte dieſe durch Jodkaliumlöſung nachzuweiſen. — An tetaniſchen Fröſchen ſolle der Strom fehlen. — Ein durch Eis erkalteter Froſch gebe gleichfalls keinen Strom mehr u. ſ. w.

Von dem »courant propre des nerfs et du sang«, welche Hypotheſe der Ausgangspunkt dieſer Unterſuchungen für Matteucci war, iſt hier ſchon nicht mehr die Rede, er ſagt, die Urſache des Froſchſtroms ſey uns ſchlechterdings unbekannt.

Matteucci's wahres Verdienſt in dieſer Arbeit iſt in dem Nachweis zu ſuchen, daß der elektromotoriſche Vorgang, auf welchem der Froſchſtrom beruht, unabhängig iſt von der Berührung vom Muskel- und Nervengewebe außerhalb der Glieder oder ihrer Schließung zum Kreiſe; daß die Verbindung von je zwei Punkten des Froſches, z. B. Unterſchenkel und Rücken, einen Strom gebe. Durch dieſe Entdeckung fällt die ältere Volta'ſche Theorie, Nobili's thermoelektriſche Hypotheſe und die Vorſtellung eines gemeinen elektrochemiſchen Vorgangs in ſich zuſammen. Die hier von Matteucci angewandte Beobachtungsmethode enthält den Keim, deſſen weitere Entwickelung die Mittel bietet, die Geſetze des Muskelſtroms näher zu erforſchen. — Dieſe Arbeit, welche ſpäter in Matteucci's »Essai sur les phénomènes électriques des animaux« Paris 1840, als ſechstes Kapitel der zweiten Abtheilung unverändert und ohne Zuſatz nochmals abgedruckt wurde, bildet den Ausgangspunkt der Unterſuchungen, welche Du Bois über thieriſche Elektricität anſtellte.

Die erſten Erfolge in der Bearbeitung des Gegenſtandes erhielt derſelbe im Frühjahr 1842. Im Januarheft 1843 von Poggendorff's Annalen erſchien ein Aufſatz von Du Bois unter dem Titel: »Vorläufiger Abriß einer Unterſuchung über den Froſchſtrom und über die elektromotoriſchen Fiſche«, welche die Reſultate ſeiner erſten Unterſuchungen enthält. Ich werde über dieſe Arbeit nicht beſonders berichten, weil ihre Reſultate in das größere Werk übergegangen ſind, welches wir eben beſprechen.

Der Multiplicator. Hier mag in Kürze das Wichtigste von dem 280
folgen, was Du Bois mit dankenswerther Ausführlichkeit über die Construction und die Anwendung dieses Instrumentes sagt.

Da der Leitungswiderstand der elektromotorischen Theile des thierischen Körpers, welche durch den Multiplicator geschlossen werden, sehr bedeutend ist, so muß man zur Construction eines zu diesen Versuchen brauchbaren Multiplicators auch einen sehr langen und dünnen Draht verwenden. Zum Du Bois'schen Multiplicator waren 1000 Meter Kupferdraht von 0,17^{mm} Durchmesser verwendet worden, und zwar bildete dieser Draht 4650 Windungen. In der Form wich dieser Multiplicator etwas von den bisher gebräuchlichen ab. Die Länge des Rahmens, auf welchen der Draht aufgewunden wurde, war im Lichten 64^{mm} lang und 37^{mm} breit; die Höhe der Querleisten, also der Zwischenraum, in welchem die untere Nadel spielte, war nur 4^{mm} hoch. Die Länge der Seitenwände betrug 110, ihre Höhe 51 Millimeter. Der durch die Drahtwindung gebildete Körper war also schmaler und höher als gewöhnlich.

Die Länge der Nadeln betrug 58,4^{mm}, ihr Durchmesser 1^{mm}, ihr Abstand im Lichten 25^{mm}.

Die Nadeln waren cylindrisch mit kegelförmigen Spitzen; jede Nadel wog 384, das neusilberne Verbindungsstück 408 Milligramm. Später wandte Du Bois ein anderes Spiel Nadeln an, welches bei gleicher Empfindlichkeit eine geringere Schwingungsdauer hat. Länge und Abstand der Nadeln waren dieselben, die Nadeln aber etwas dünner und allmälig zugespitzt. Das Gewicht jeder Nadel beträgt 226, das Gewicht des kupfernen Verbindungsstückes 130 Milligramm.

Die Franzosen verwenden in der Regel noch weit leichtere Nadeln, welche allerdings eines stärkern Magnetismus fähig sind, deren magnetischer Zustand aber auch bei weitem nicht so stabil ist als der der stärkern Nadeln; deshalb verliert sich bei den französischen Instrumenten so leicht die Astasie, namentlich wenn die beiden Nadeln nicht gleich lang sind.

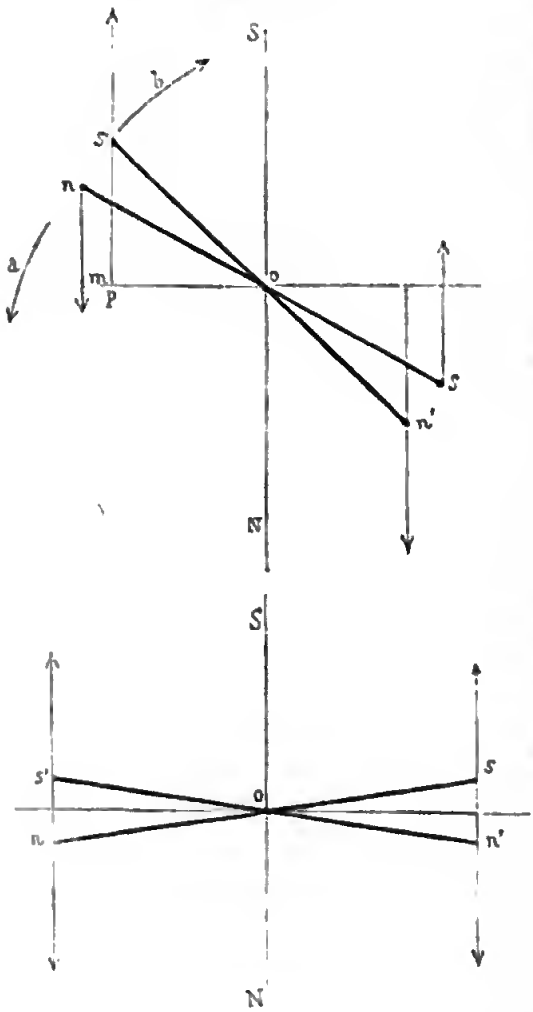
Je vollkommner astatisch ein Nadelpaar ist, desto langsamer wird es schwingen. Du Bois hat es nicht über eine Schwingungsdauer von 30″ gebracht, während Matteucci von Nadelpaaren spricht, welche 70″ zu einer Schwingung brauchten. Du Bois räth aber, bei dem Bau des Multiplicators es vielmehr im Auge zu haben, durch die Anzahl der Windungen und ihre möglichst günstige Lage gegen die Nadeln die genügende Empfindlichkeit zu erzielen, als durch die weiter getriebene Astasie. Der von Du Bois gebrauchte Multiplicator warf die Nadeln oft schon gegen die Hemmung, während Matteucci unter gleichen Umständen nur eine Ablenkung von wenigen Graden erhielt.

Ein gut astatisches Nadelpaar stellt sich nicht mehr in den in den mag-

netiſchen Meridian ein, ſondern weicht um ſo mehr von demſelben ab, je vollkommner die Aſtaſie iſt, ſich endlich nahezu rechtwinklig auf den magnetiſchen Meridian ſtellend. Du Bois nennt dies bezeichnend die freiwillige Ablenkung aſtatiſcher Nadelpaare. An der Größe dieſer freiwilligen Ablenkung kann man die mehr oder weniger vollkommene Aſtaſie der Nadeln erkennen.

Schon Nobili hat den Grund der freiwilligen Ablenkung richtig darin gefunden, daß die Horizontalprojectionen beider Nadeln nie ganz zuſammenfallen, ſondern einen mehr oder weniger großen Winkel mit einander machen. Es iſt dies mit Hülfe der Figur 274 leicht zu überſehen. Es ſeyen ns und $n's'$ die Horizontalprojectionen der beiden vollkommen gleichen und gleich ſtark magnetiſchen Nadeln, NS der durch ihren Kreuzungspunkt o gelegte magnetiſche Meridian. Die Kräfte, welche die Nadeln zu drehen ſtreben, können wir uns in ihren Endpunkten angebracht denken, und zwar iſt ihre Richtung parallel mit NS, wie es in der Figur durch Pfeile angedeutet iſt. Bezeichnen wir die in n angreifende, parallel mit NS wirkende Kraft mit k, ſo iſt kl das ſtatiſche Moment, mit welchem dieſe Kraft die eine Nadel in der Richtung des Pfeiles a zu drehen ſtrebt, wenn wir mit l den Hebelarm om bezeichnen. Die Geſammtkraft, mit welcher die Nadel s in dieſer Richtung gedreht wird, iſt $2kl$, weil am anderen Ende der Nadel eine gleiche Kraft, an gleichem Hebelarm angreifend, eine Drehung nach derſelben Richtung bewirkt.

Fig 274.



Die Kraft, mit welcher die andere Nadel $n's'$ in entgegengeſetzter Richtung, alſo in der Richtung des Pfeils b gedreht wird, iſt $2kl'$, wenn mit l' der Hebelarm op bezeichnet wird.

Zwischen den beiden, das System nach entgegengesetzter Richtung drehenden statischen Momenten $2kl$ und $2kl'$ kann aber natürlich nur dann Gleichgewicht stattfinden, wenn $l = l'$, und dies ist nur dann der Fall, wenn die Nadeln die in Fig. 274 vorgezeichnete Lage haben, d. h wenn die Linie, welche den in der Wirklichkeit sehr spitzen Winkel der Nadeln halbirt, rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Von dieser Stellung wird die Gleichgewichtslage des Nadelpaars natürlich um so mehr abweichen, je ungleicher der Magnetismus der beiden Nadeln ist.

Die freiwillige Ablenkung hat für den Gebrauch des Multiplicators keinen praktischen Nachtheil. Man folgt der Nadel mit der Nullinie, bis sie in derselben einsteht, und arbeitet alsdann, als ob sie sich im Meridian befände.

Mit der wachsenden Astasie der Nadeln macht sich aber auch noch eine Ablenkung der Nadeln durch die Drahtmassen geltend, welche die Brauchbarkeit der Instrumente sehr beeinträchtigt. Es hält nämlich sehr schwer, Kupferdraht für die Windungen zu erhalten, welcher absolut unmagnetisch ist. Ganz rein kann man freilich das Kupfer auf galvanischem Wege darstellen, das galvanische Kupfer soll sich aber nicht zu so feinem Drahte ausziehen lassen, wie es zu diesen Multiplicatoren nöthig ist Außerdem ist zu bedenken, daß das Kupfer durch das Ziehen selbst schon etwas mit Eisen verunreinigt wird. Kurz, die Drahtmassen üben immer eine, wenn auch nur sehr geringe Anziehung auf die Nadeln aus.

Diese Anziehung äußert sich im Allgemeinen auf folgende Weise. Bei geringer Schwingungsdauer des Nadelpaars wird keine Störung durch die Drahtmassen fühlbar, die Nadel hält leicht die Nullinie ein. Bei größerer Astasie bemerkt man meistens zuerst, daß die Stellung der Nadel im Multiplicator nicht mehr völlig mit der außerhalb desselben beobachteten übereinstimmt. Folgt man jetzt der Nadel mit den Windungen, so flieht sie bis zu einer gewissen Lage derselben vor der Nullinie her, wobei sich der Winkel zwischen ihr und der Nullinie stets verkleinert; überschreitet man diese Gränze, so schlägt die Nadel plötzlich durch den Nullpunkt durch, und sucht jenseits desselben eine feste Gleichgewichtsstellung. Bei noch mehr steigender Astasie verwickeln sich die Erscheinungen noch mehr.

Betrachten wir zuerst den störenden Einfluß, welchen die Drahtwindungen auf ein absolut astatisches Nadelsystem, also auf ein solches ausüben, welches dem Einfluß des Erdmagnetismus ganz und gar entzogen ist. Ein solches Nadelpaar hat in den Drahtwindungen zwei Stellungen des stabilen Gleichgewichts, es stellt sich in die Richtung der einen oder der anderen Diagonalen der Drahtwindungen, wie dies in Fig. 275, s. f. S., angedeutet ist, in welcher *abcd* die Horizontalprojection der Draht-

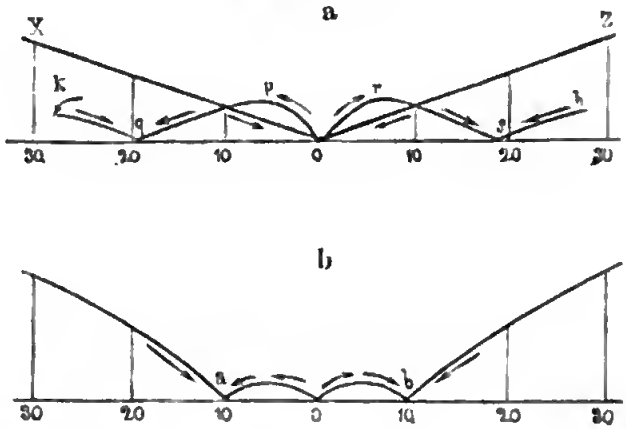
windungen ungefähr in den Verhältniſſen des Multiplicators darſtellt, mit welchem Du Bois arbeitete.

Fig. 275.

Bringt man das abſolut aſtatiſche Nadelpaar aus der Lage *bc* heraus, und zwar nach der einen oder anderen Seite hin, ſo wird es durch die magnetiſche Anziehung der Drahtmaſſen wieder in die Lage *bc* zurückgeführt. Ueber dem Spalt, welcher die beiden Hälften der Drahtwindungen theilt, befindet ſich das Nadelpaar im Zuſtande des labilen Gleichgewichts, denn bei der allergeringſten Verrückung nach der linken, wird es in die Lage *bc* geführt, während es ſich in die Lage *ad* begiebt, wenn die Nadel von dem dem Spalte entſprechenden Punkte nur etwas nach der rechten bewegt wird.

Im Nullpunkt der Theilung iſt alſo die Kraft, mit welcher die Drahtwindungen die Nadel zu drehen ſtreben, gleich Null, d. h. ſie wird gleich ſtark nach der Rechten und nach der Linken gezogen; rechts vom Nullpunkt wird ſie nach der Rechten, links von demſelben wird ſie nach der Linken gezogen. Die Größe der Kraft, mit welcher das Nadelpaar in verſchiedenen Punkten der Theilung durch die Drahtmaſſen afficirt wird, iſt in Fig. 276 durch die Kurve *kqporsh* dargeſtellt, welche Du Bois die

Fig. 276



ſtörende Kurve nennt. Die Abſciſſen ſind den Graden der Theilung, die Ordinaten ſind der Kraft proportional, mit welcher die Nadel afficirt wird. Die Richtung, nach welcher in den entſprechenden Punkten die Nadel gedreht wird, iſt durch Pfeile angedeutet, welche der ſtörenden Kurve beigeſetzt ſind. *o* entſpricht dem Nullpunkt der Theilung.

Der Punkt *o* ist also der Punkt des labilen Gleichgewichtes, die Nadel wird nach beiden Seiten hin von demselben weggezogen; in *q* und *s*, welche Punkte bei Du Bois' Multiplicator 19,5° rechts und links vom Nullpunkt liegen (vergl. Fig. 275), sind die beiden Punkte des stabilen Gleichgewichts, denn von beiden Seiten her wird die Nadel in diese Lage zurückgetrieben, wenn man sie etwas aus derselben entfernt. Ungefähr in den *p* und *r* entsprechenden Punkten ist die Kraft, mit welcher die Nadeln durch die Einwirkung der Drahtmassen gegen die Punkte des stabilen Gleichgewichts hingetrieben wird, ein Maximum.

In Betreff der Art und Weise, wie für jedes Instrument die Gestalt der störenden Kurve auf dem Wege des Versuchs gefunden werden kann, muß ich auf das verweisen, was Du Bois darüber in seinem Werke sagt.

Das Nadelpaar ist aber außer der magnetischen Einwirkung der Drahtmassen, auch noch der magnetischen Erdkraft unterworfen, welche für sich allein dasselbe auf dem Nullpunkt der Theilung zurückzuhalten strebt, und es mit desto größerer Kraft nach demselben zurücktreibt, je weiter man es von demselben entfernt. Im Allgemeinen ist die Kraft, mit welcher die Erdkraft auf das Nadelpaar wirkt, um so geringer, je vollkommner astatisch dasselbe ist. In Fig. 276 stellen die Ordinaten der Kurven *xo* und *zo* die Kraft dar, mit welcher die Erdkraft das Nadelpaar an den entsprechenden Theilen der Theilung gegen den Nullpunkt hintreibt. Diese Kurven *xo* und *zo*, welche sich auf ein ziemlich gut astatisches Nadelpaar beziehen, schneiden die störende Kurve in zwei Punkten.

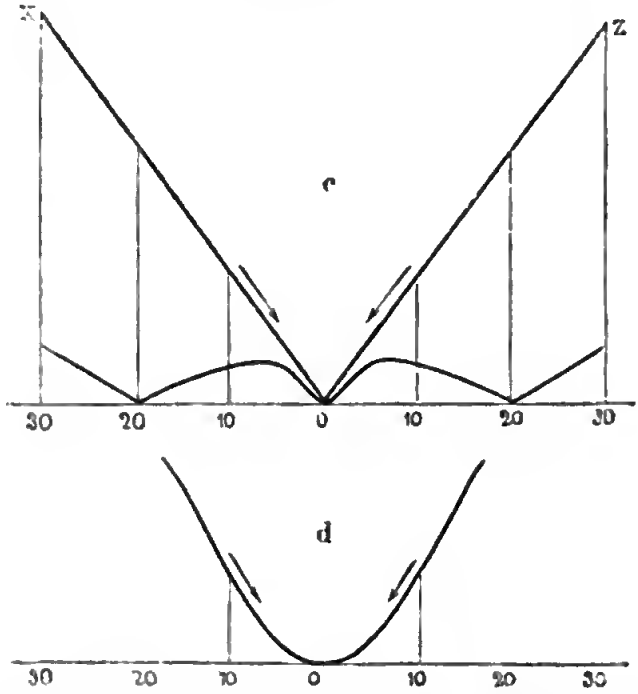
Die Einwirkung, welcher die Nadeln unter dem Einflusse der beiden Kräfte ausgesetzt sind, wird durch die Kurve Fig. 276 b dargestellt, welche durch die Combination der beiden Kurven in Fig. 276 a in der Weise gebildet ist, daß an Stellen der Theilung, wo die beiden Kräfte in gleicher Richtung auf die Nadel wirken, die Summe der beiden Ordinaten aufgetragen ist, hingegen die Differenz derselben an solchen Stellen, wo die beiden Kräfte die Nadeln nach entgegengesetzter Richtung afficiren.

Man sieht, daß auch in diesem Fall bei *o* nur ein labiles Gleichgewicht stattfindet, daß sich aber auf jeder Seite des Nullpunktes ein Punkt des stabilen Gleichgewichtes befindet, nämlich bei *a* und bei *b*.

Ist das Nadelpaar weniger astatisch, so werden die Kurven *xo* und *zo* steiler, die Durchschnittspunkte desselben mit der störenden Kurve, also auch die Punkte *a* und *b* des stabilen Gleichgewichtes rücken mehr gegen den Nullpunkt hin, bis endlich im Nullpunkt selbst ein stabiles Gleichgewicht statt findet, Fig. 277 d, s. f. S., so bald nur die Nadeln so wenig astatisch sind, daß die Kurven *xo* und *zo* ganz über die störende Kurve fallen, wie in Fig. 277 c, s. f. S.

Wenn man in Folge des ſtörenden Einfluſſes der Drahtwindungen die Nadel nicht auf dem Nullpunkt der Theilung in ein ſtabiles Gleichgewicht

Fig 277.



bringen kann, ſo iſt das Inſtrument in dieſem Zuſtande wenigſtens unbrauchbar; es fragt ſich, was man zu thun habe, um den erwähnten ſtörenden Einfluß der Drahtmaſſen entweder aufzuheben oder wenigſtens unſchädlich zu machen.

Da ſich das durchaus eiſenfreie galvanoplaſtiſche Kupfer nicht wohl zu ſo dünnem Drahte ausziehen läßt, wie er zu Multiplicatoren von großem Widerſtand erforderlich iſt, ſo gelingt es nicht leicht, Kupferdraht zu erhalten, welcher nicht zu der erwähnten Störung Veranlaſſung gäbe, wenn der Draht, wie dies gewöhnlich der Fall iſt, durch den Spalt, welcher die eine Nadel hindurch läßt, in zwei Hälften getheilt iſt, wodurch ein Anziehungsmittelpunkt auf jeder Seite der Nullinie entſteht. Peclet hat deshalb eine von Poggendorff modificirte Vorrichtung angegeben, durch welche es möglich wird, den Spalt ganz zu vermeiden. Kleiner hat, ſtatt den Spalt mit dem Kupferdraht ſelbſt zuzuwickeln, vorgeſchlagen, denſelben nachträglich, wenn die Nadeln an ihrer Stelle ſind, mit paſſend zugerichteten Stücken deſſelben Kupfers auszufüllen, aus welchem die Drähte beſtehen.

Durch dieſe noch in mannichfache Weiſe zweckmäßig variirten Methoden werden gewiſſermaßen die Ordinaten der ſtörenden Kurve zu Null gemacht, man hat alſo nicht nöthig, die Aſtaſie des Nadelpaars zu beſchränken.

Schröder fügt ein Paar $1\frac{1}{2}'''$ lange, dünne Eisencylinder horizontal in die mittlere Stäbe des Rahmens ein, welche dazu dienen, die Windungen auseinander zu halten, und verschiebt oder verkleinert diese Eisencylinderchen so lange, bis sie eben ausreichen, um die Nadel in der den Windungen parallele Lage zurückzuhalten (Pogg. Ann. LIV. 60).

Hat man den störenden Einfluß der Drahtmassen nicht an und für sich corrigirt, so bleibt nichts übrig, als die Astasie des Nadelpaars so weit zu vermindern, daß die Kurve *xoz* zu beiden Seiten von *o* eben über die störende Kurve zu liegen komme. Da es nun aber höchst schwierig seyn dürfte, beim Magnetisiren der Nadeln gerade den richtigen Grad der Astasie zu treffen, so muß man die Regulirung derselben durch einen sogenannten Berichtigungsstab bewerkstelligen. Nobili schlug zuerst vor, sich eines in einiger Entfernung von dem astatischen System passend angebrachten Magneten zu bedienen, um die Astasie nach Bedürfniß bald zu mäßigen, bald zu erhöhen. Am gründlichsten hat Melloni die Anwendung des Berichtigungsstabes studirt und beschrieben. Stellt man einen Magnetstab in der Verticalebene der beiden Nadeln, wenn sie sich in ihrer Gleichgewichtslage befinden, so auf, daß seine Axe zusammenfällt mit der Wagerechten, welche die senkrechte Entfernung der beiden Nadeln halbirt, so wirkt er mit gleichen aber entgegengesetzten Kräften auf beide Nadeln und die Astasie des Systems bleibt unverändert. Hebt oder senkt man den Stab, so wirkt er beschleunigend oder verzögernd auf die Schwingungen des Nadelpaars; man hat auf diese Weise die Regulirung der Astasie ganz in der Hand. Melloni schlägt für den Berichtigungsstab 200^{mm} Länge und 5^{mm} Durchmesser vor; er befestigt ihn auf einem Statif, welches auf- und niedergestellt werden kann, und welches außerdem vermittelst eines Gelenkes verschiedene Neigungen des Stabes gegen den Horizont zuläßt, und stellt ihn so auf, daß die in der Azimuthebene des Nadelpaars befindliche, gegen den Horizont ungefähr um 45^{0} geneigte Stabaxe verlängert, den nächsten Pol des astatischen Nadelpaares treffen würde.

Du Bois, welcher sich bei seinen Versuchen meistens des Berichtigungsstabes bediente, hatte ihn in einem Abstande von 4 Decimetern von der Nadel angebracht.

Um das Durchschlagen der Nadeln zu verhüten, sind gewöhnlich an den 90^{0} Punkten des Theilkreises Stiftchen eingesetzt, an welchen die obere Nadel anschlägt, sobald die Ablenkung bis zu 90^{0} wächst. Du Bois zeigt nun, daß diese Form der Hemmung unzweckmäßig ist, weil das heftige Anschlagen der Nadeln gegen dieselben theils starke Schwenkungen hervorbringt, theils auch den Magnetismus der Nadeln gefährdet; er

wandte deshalb zu den Hemmungen mehrfache Coconfäden an, welche von dem Aufhängepunkte der Nadel aus durch kleine, in der Theilung angebrachte Oeffnungen zu beiden Seiten des Rahmens herabhingen und unterhalb des Spielraums der unteren Nadel durch ein Stück Platindraht beſchwert waren. Die Nadel fängt ſich in dieſen Hemmungen auf die angemeſſenſte Weiſe.

Bei einem ſpäter conſtruirten Multiplicator wurden dieſe Fäden durch ganz dünne und alſo ſehr leicht biegſame Glimmerblättchen erſetzt, gegen welche die Nadel anſchlägt.

Was die näheren Details über Conſtruction, Behandlung, Aufſtellung u. ſ. w. des Multiplicators betrifft, ſo muß ich natürlich auf Du Bois' Werk verweiſen.

281 **Darſtellung des Verfahrens, thieriſche Theile mittelſt des Multiplicators auf Stromentwickelung zu unterſuchen.** Nachdem wir nun das Weſentlichſte über den zu thieriſch elektriſchen Verſuchen anzuwendenden Multiplicator beſprochen haben, kommt es nun darauf an, zu ſehen, wie man einen Theil des thieriſchen Körpers, den man auf Stromerregung prüfen will, zwiſchen die Enden des Multiplicatordrahtes einzuſchalten hat, wie man verfahren muß, um ſicher zu ſeyn, daß der am Multiplicator beobachtete Strom auch wirklich von dem thieriſchen Körper erzeugt ſey und nicht irgend andere elektromotoriſche Kräfte hier thätig ſind.

Die Enden des Multiplicatordrahtes werden in der Regel mit Platinplatten verſehen, an welchen der Uebergang des Stroms aus den flüſſigen oder feuchten Theilen der Kette in das Drahtgewinde ſtattfindet. Hier iſt es nun vor allen Dingen höchſt wichtig, daß die Platinplatten, ſo weit es nur irgend zu erreichen möglich iſt, gleichartig ſeyen, denn wenn die geringſte Verſchiedenheit zwiſchen den beiden Platten ſtattfindet, ſo iſt dieſe die Urſache einer Stromentwickelung, ſobald man ſie zur Schließung der Kette anwendet; es wird ein Strom entſtehen, ſobald man die Platten z. B. in ein und daſſelbe Gefäß mit Waſſer eintaucht. Wenn man nun einen thieriſchen Körpertheil zwiſchen zwei ſolche ungleichartige Platinplatten einſchaltet, ſo iſt es offenbar zweifelhaft, in wiefern die beobachtete Ablenkung durch den thieriſchen Elektromotor oder durch die Ungleichartigkeit der Platinplatten bedingt iſt.

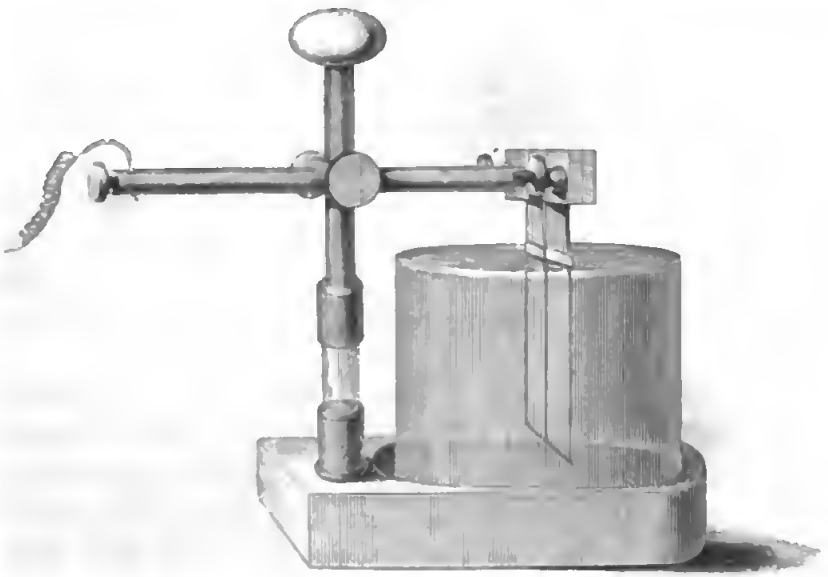
Du Bois reinigt ſeine Platinplatten, indem er ſie der Reihe nach mit Alkohol und Aether, mit Kalihydratlöſung und mit Königswaſſer abwäſcht. Zwiſchen zwei Abwaſchungen werden ſie mit Waſſer abgeſpült und endlich über einer Weingeiſtlampe ausgeglüht.

Wenn aber auch die Platinplatten möglichſt gleichartig gemacht ſind, ſo entſtehen immer noch Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen derſel-

den in die Flüssigkeit. Fechner hat bereits in seinem klassischen Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie (welches den dritten Band seiner Bearbeitung von Biot's Lehrbuch der Physik bildet) auf Seite 466 u. f. zusammengestellt, was damals über die Ströme bekannt war, welche durch ungleichzeitiges Eintauchen sonst gleichartiger Metalle entstehen. Später hat Schröder noch eine ausführliche Untersuchung über diesen Gegenstand in Poggendorff's Annalen publicirt (LIV, 57). Höchst wahrscheinlich ist diese Erscheinung einer Gasschicht zuzuschreiben, mit welcher sich die Platten in der Luft bedecken und welche nach dem Eintauchen in die Flüssigkeit alsbald verschwindet. Der in Folge des ungleichzeitigen Eintauchens hervorgerufene Strom verschwindet aber alsbald wieder, sobald nur die Platinplatten, welche die Enden des Multiplicatordrahtes bilden, durch eine homogene Flüssigkeit zur Kette geschlossen bleiben. Man kann aber auch nur so lange von der Gleichartigkeit der Platten überzeugt seyn, als sie unverrückt in der Flüssigkeit stehen bleiben; der Multiplicator muß also durch die Flüssigkeit fortdauernd geschlossen bleiben, was Du Bois in folgender Weise bewerkstelligt:

In ein rundes Glasgefäß, Fig. 278, von 76^{mm} Durchmesser, hängen

Fig. 278.



zwei Platinplatten herab, welche mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes in leitende Verbindung gebracht werden. (Du Bois fand, daß man mit zwei solchen Platten der Ungleichartigkeiten viel eher Herr wird, als wenn jedes Drahtende des Multiplicators nur mit einer Platte versehen ist.) Diese Platten sind in einer Blechklemme gehalten, die sich am Ende eines horizontalen Messingstabes befindet, der an einem verticalen,

durch ein Glasſäulchen iſolirten Meſſingſtabe auf und nieder, vor- und rückwärts geſchoben werden kann. An dem andern Ende des horizontalen Stabes iſt der eine Zuleitungsdraht des Multiplicators eingeſchraubt.

Dem andern Ende des Multiplicatordrahtes entſpricht ein ganz gleiches Zuleitungsgefäß, in welches zwei Platinplatten in derſelben Weiſe herabhängen. Jedes Platinblech iſt 65,5^{mm} hoch und 26,5^{mm} breit. Die Zuleitungsgefäße werden mit einer concentrirten Löſung von Kochſalz gefüllt und dann die Schließung der Kette dadurch bewirkt, daß die beiden Glasgefäße durch ein gleichfalls mit concentrirter Kochſalzlöſung gefülltes Heberrohr in Verbindung gebracht werden.

Sind nun die Platten auf dieſe Weiſe in die Flüſſigkeit getaucht, bei geſchloſſener Kette gleichartig, ſo handelt es ſich nur darum, die Schließung aufzuheben und zwiſchen ihnen denjenigen Körper einzuſchalten, deſſen elektromotoriſches Verhalten man unterſuchen will. Hier kann man zwei Wege einſchlagen: entweder man hebt die Platten aus der Flüſſigkeit heraus und legt ſie an die thieriſchen Theile an, oder man läßt ſie ruhig in der Flüſſigkeit und bringt die Verbindung der beiden Gefäße nach Entfernung des Heberrohrs mittelſt der thieriſchen Theile zu Stande, welche geprüft werden ſollen, indem man z. B. die Füße des enthäuteten Froſches in das eine, den Kopf in das andere Glasgefäß taucht.

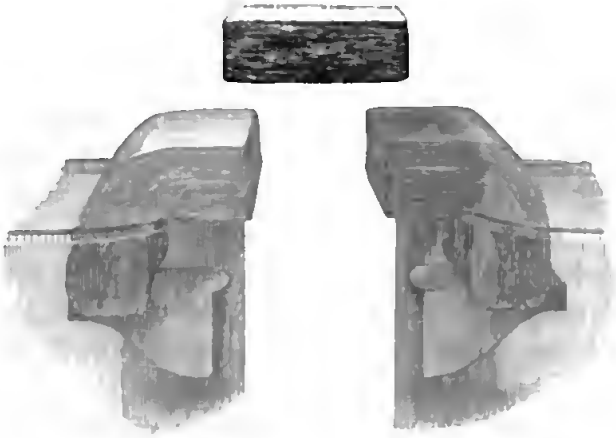
Daß bei der erſteren Methode, der Methode des Anlegens, Ungleichartigkeiten ſowohl in der Zeit als der Art der Berührung kaum vermieden werden können, iſt klar, die zweite Methode iſt demnach bei weitem ſicherer.

Um Ungleichheiten zu vermeiden, welche dadurch entſtehen könnten, daß die durch Eintauchen des thieriſchen Körpers geſtörte Flüſſigkeit gegen die Platinplatten anwogt und hier Stellen trifft, welche vorher nicht benetzt waren, umhüllt Du Bois dieſelben mit einem dicht anliegenden Mantel von Fließpapier.

Das unmittelbare Eintauchen der thieriſchen Theile in die Salzlöſung iſt nur bei gröberen Verſuchen zuläſſig, weil bei feineren Unterſuchungen das Anätzen der thieriſchen Theile durch die concentrirte Salzlöſung ſtörend wirkt. Für dieſe Fälle wendet nun Du Bois Bäuſche von Fließpapier an. Es ſind dies Compreſſen oder Bäuſche aus ſehr vielen Lagen feinen Fließpapiers, welche, mit der geſättigten Salzlöſung getränkt, auf den Rand der Zuleitungsgefäße aufgelegt werden, wie Fig. 279 zeigt. Sie ruhen, außer auf dem Rande der Gefäße ſelbſt, innerhalb derſelben noch auf gefirnißten Holzklötzchen, welche an die Wand der Gläſer angekittet ſind. Man kann dieſe Bäuſche die Zuleitungsbäuſche nennen. Die Schließung der Kette wird durch einen dritten, gleichfalls mit der Salzlöſung getränkten Bauſch, den Schließungsbauſch,

bewirkt, welcher auf die Zuleitungsbäusche gelegt wird. Um den auf Elektricitätserregung zu prüfenden thierischen Körper in die Kette einzuschalten, muß man natürlich erst den Schließungsbausch entfernen. Nun

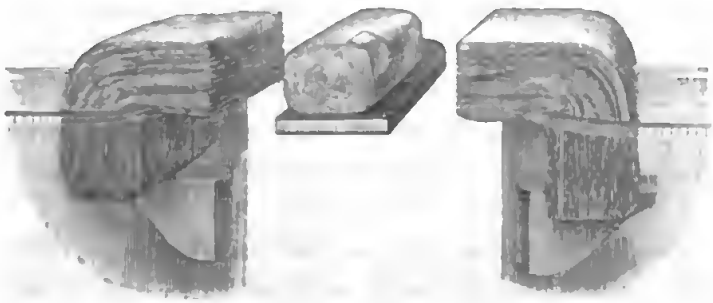
Fig. 279.



darf man aber die thierischen Theile nicht unmittelbar auf die Zuleitungsbäusche legen, weil sonst das erwähnte Anätzen stattfinden würde, welches für sich schon Zuckungen hervorbringen kann. Um diese unmittelbare Berührung zu hindern, legt Du Bois an derjenigen Stelle der Bäusche, wo die thierischen Körpertheile applicirt werden sollen, erst ein sogenanntes Eiweishäutchen auf, d. h. ein Stückchen getrockneter Schweinsblase (20^{mm} lang, 13^{mm} breit), welches in Eiweis vollständig aufgeweicht worden ist. Auf den Bausch kommt also das Eiweishäutchen und auf dieses erst der thierische Elektrometer.

Zu manchen Versuchen ist noch ein Zwischenbausch nöthig, welcher

Fig. 280.



zwischen den Bäuschen der Zuleitungsgefäße in der Weise angebracht ist, wie Fig. 280 zeigt.

Allgemeine Erscheinungsweise der thierisch elektrischen Ströme am Multiplicator. 282 Das Schema eines thierisch elektrischen Versuches

am Multiplicator ist folgendes: Die Multiplicatornadel wird durch den Berichtigungsstab auf Null gehalten. Die Zuleitungsgefäße mit den Platinplatten sind ohne den Multiplicator zur Kette geschlossen. Jetzt wird der Multiplicator in die Kette aufgenommen, wobei keine oder nur eine unbedeutende Ablenkung der Nadel erfolgen darf. Der Schließungsbausch wird entfernt, die Zuleitungsbäusche an den entsprechenden Stellen mit dem Eiweishäutchen versehen, und dann abermals der Schließungsbausch aufgelegt, um sich nochmals von der ungestörten Gleichartigkeit der Vorrichtung zu überzeugen. Nach abermaliger Entfernung des Schließungsbausches wird der Zwischenraum zwischen den Zuleitungsbäuschen durch Auflegen des thierischen Elektromotors überbrückt, wie dies später noch specieller wird besprochen werden. Die erste nun folgende Nadelbewegung wird als Ausschlag der Größe und Richtung nach verzeichnet. Beabsichtigt man eine beständige Ablenkung der Nadel, so läßt man sie zur Ruhe kommen, was der starken Ladungen halber, die sich sogleich auf den metallischen Multiplicatorenden entwickeln, viel tiefer stattfindet, als man nach dem Ausschlage zu glauben geneigt seyn möchte. Ist die Wahrnehmung vollendet oder sollte keine beständige Ablenkung abgewartet werden, so entferne man rasch den thierischen Elektromotor aus der Kette. Legt man nun den Schließungsbausch wieder auf, so erfolgt ein dem früheren entgegengesetzter Ausschlag.

Er rührt von einem Polarisationsstrome her, denn der thierisch elektrische Strom, welcher die erste Ablenkung bewirkte, muß nothwendig eine Polarisation der Platinplatten zur Folge haben, deren Entladung nun durch einen entgegengesetzt gerichteten Strom stattfindet, wie wir dies schon Seite 351 gesehen haben.

Die Stärke dieses secundären Stromes ist der des primären proportional.

Diese Bedingungen führen keinen wesentlichen Nachtheil mit, ja sie können manchen nicht unerheblichen Dienst leisten. Vor allem stehen sie als sichere Bürgen da, daß die beobachtete Wirkung in der That von dem eben entfernten Elektromotor herrührte; unverhältnißmäßig starke oder unerwartet schwache Ladungen weisen auf irgend etwas hin, was nicht in der Ordnung ist.

Eine gewöhnliche Art, sich von der Aechtheit der beim Auflegen eines Elektromotors beobachteten Wirkung zu überzeugen, besteht auch darin, denselben später *umzulegen*, d. h. in verkehrter Richtung aufzulegen; die Wirkung muß alsdann gleichfalls ihre Zeichen ändern. — Man kann sich aber zugleich des Umlegens und des Ausschlages der Ladungen bedienen, um sehr schwache Ströme deutlicher sichtbar zu machen, indem man nämlich das Umlegen ausführt, ohne vorher die Ladungen auszugleichen

oder ihnen Zeit zu lassen, bei ungeschlossener Kette sich zu schwächen. Alsdann summiren sich die Wirkungen des primären und secundären Stromes auf die Nadel zu einem viel größern Ausschlage, als der erste war.

Das physiologische Rheoskop. Daß das physiologische Rheoskop in 283
Gestalt des Froschpräparates mit dem Multiplicator wetteifere, so daß noch Nobili ihm den Preis zugestehen mußte, ist bereits erwähnt worden; gegenwärtig hat man es jedoch in der Construction der Multiplicatoren soweit gebracht, daß man ihm diesen Vorrang nicht mehr zugestehen kann. Dessenungeachtet ist das physiologische Rheoskop besonders geeignet, in manchen Fällen wichtige Dienste zu leisten, wir müssen es deshalb auch näher betrachten.

Das physiologische Rheoskop erreicht erst dadurch den hohen Grad von Empfindlichkeit, daß der Strom in einer Strecke seiner Bahn auf den Nerven allein angewiesen sey. Man empfiehlt gewöhnlich, um sich des Frosches als stromprüfenden Mittels zu bedienen, denselben nach Galvani's bekannter Vorschrift zuzubereiten. Du Bois kann diesem Präparate nur noch einen geschichtlichen Werth beilegen. Um das Froschpräparat recht empfindlich zu machen, kommt es darauf an, sich ein möglichst langes Ende Nerv freiliegend zu verschaffen; dies ist bei dem stromprüfenden Froschschenkel der Fall, welcher Fig. 281 abge-

Fig 281.

bildet ist. Er besteht aus einem bloßen Unterschenkel vom Frosch, an welchem der ganze Verlauf des Nervus ischiadicus von der Kniekehle bis zu den Lendenwirbeln erhalten ist.

Eine wichtige Vorsichtsmaßregel besteht darin, den stromprüfenden Schenkel bis auf die in den zu untersuchenden Kreis eingeschaltete Nervenstrecke sorgfältig isolirt zu halten, damit man sicher sey, daß weder der eigene Strom des Schenkels, noch sonst ein anderer Strom, als derjenige, dessen Wirkung man eben beobachten will, seinen Weg durch den Nerven nehme.

Auf thierisch elektrische Versuche angewandt, bietet das physiologische Rheoskop zunächst den Vortheil dar, daß es das einzige ist, dessen Anzeigen ohne Einschaltung von Metallen in den Kreis gewonnen werden können. Damit fallen die großen Schwierigkeiten weg, mit denen die Her-

stellung gleichartiger Metallflächen verknüpft ist, dagegen ist das physiologische Rheoskop mit mannichfachen Mängeln behaftet. Es entbehrt zunächst aller Gleichmäßigkeit der Angaben, indem die Reizbarkeit nicht allein bei verschiedenen Froschindividuen sehr ungleich ist, sondern auch mit der Jahreszeit variirt und nach dem Tode rasch abnimmt. Das Froschpräparat antwortet durch Zuckung nur auf den Anfang und das Ende des Stroms, so daß es zweifelhaft bleibt, ob man mit einem stetigen Strom oder nur mit einer augenblicklichen Entladung zu thun habe. Endlich läßt sich aus den Zuckungserscheinungen unter günstigen Umständen zwar ein Schluß auf die Stromesrichtung ziehen, wie wir alsbald sehen werden, allein diese Anzeigen sind doch ziemlich unsicher.

284 **Allgemeines Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom.** Es ist bereits bemerkt worden, daß der stromprüfende Froschschenkel nur auf das Eintreten und Aufhören des Stroms oder, allgemeiner ausgedrückt, nur auf die Schwankungen in der Stromstärke antwortet, sich aber während der Dauer eines gleichbleibenden Stromes ruhig verhält. Dies hat nun Du Bois in präciser Fassung als oberstes Gesetz der elektrischen Reizversuche in folgender Weise ausgesprochen.

Nicht der absolute Werth der Strombichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung antwortet, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum andern, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, welche diesen Bewegungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Größe vor sich gingen oder je größer sie in der Zeiteinheit waren.

Ich will versuchen, dieses so wichtige Gesetz durch einige graphische Darstellungen zu erläutern und anschaulich zu machen. Jede der folgenden Figuren zerfällt in zwei Abtheilungen; die untere Kurve stellt das Gesetz dar, nach welchem sich die Stromstärke mit der Zeit ändert, und zwar sind die Abscissen der Zeit, die Ordinaten der Stromstärke, d. h. der Strombichtigkeit, proportional, welche in dem entsprechenden Augenblick die Kette durchläuft. So sehen wir in Fig. 282 die Stromstärke sehr rasch bis zu einer bestimmten Größe wachsen, welche dann constant bleibt, wie man daraus ersieht, daß die untere Kurve nach raschem Steigen horizontal fortläuft. In Fig. 283 sieht man die Stromstärke von Null bis zu derselben Größe wie Fig. 282, nur etwas langsamer ansteigen.

Die oberen Kurven stellen nun die den unteren entsprechende Zuckungswirkung dar. Diese hängt von der Steilheit der unteren Kurve ab; da wir das Gesetz dieser Abhängigkeit noch nicht kennen, so muß man, um die Zuckungskurven construiren zu können, hier irgend eine Annahme machen

und zwar wollen wir die Zuckungswirkung einfach als proportional der

Fig. 282.

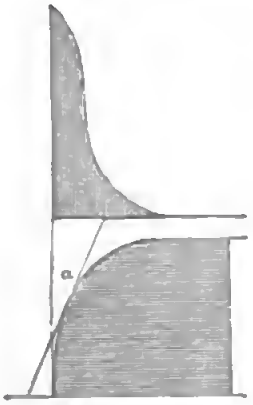
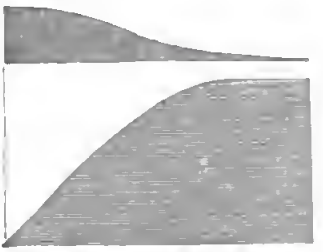


Fig. 283.

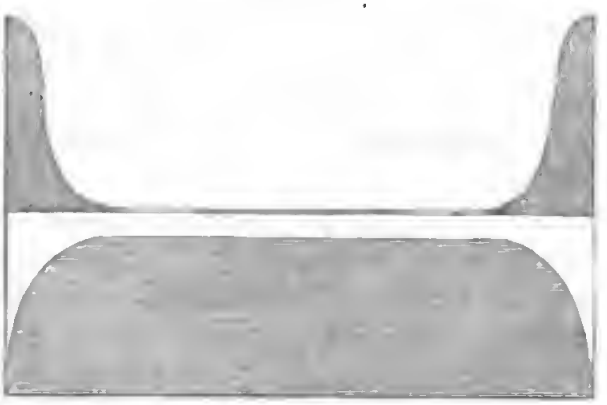


Steilheit der Kurve annehmen, welche die Variationen der Stromstärke ausdrückt. Denken wir uns in irgend einem Punkte *a* der Dichtigkeitskurve eine Tangente an dieselbe gezogen, so wird diese einen Winkel mit der Abscissenaxe machen. Die entsprechende Ordinate der Zuckungskurve ist nun stets der trigonometrischen Tangente dieses Winkels proportional aufgetragen und nach diesem Princip sind dann die sämmtlichen Zuckungskurven construirt.

Vergleicht man die Fig. 282 mit Fig. 283, so sieht man, wie der größeren Steilheit der Dichtigkeitskurve, d. h. dem rascheren Wachsen der Stromstärke, die stärkere Zuckungswirkung entspricht. Von dem Moment an, wo die Stromstärke constant bleibt, ist die Zuckungswirkung gleich Null.

In Fig. 284 sehen wir, wie die Stromstärke von Null bis zu einer

Fig. 284.



bestimmten Größe wächst, dann eine Zeit lang constant bleibt, um alsbald wieder auf Null heradzusinken, wenn der Strom unterbrochen wird. Die Zuckungskurve zeigt uns den Schließungsschlag und den Trennungsschlag, während keine physiologische Wirkung erfolgt, so lange die Stromstärke unverändert bleibt.

In Fig. 285 zeigt uns die Dichtigkeitskurve einen ſtarken Strom, welcher eine Zeit lang unverändert fortdauert, um dann etwas anzuwachſen; hier haben wir nur eine ſchwache Zuckungswirkung während der Zunahme an Stromſtärke.

Fig. 285.

Fig 286.

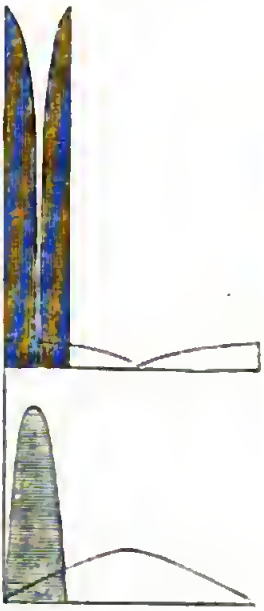


Fig 287.

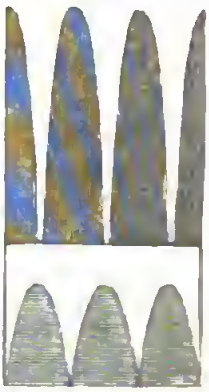


Fig. 286 zeigt uns zwei Dichtigkeits- und zwei entſprechende Zuckungskurven, welche der Entladung (etwa einer Flaſchenentladung) einer und derſelben Elektricitätsmenge entſprechen. Man ſieht, wie der raſcheren Entladung die ungleich größere Zuckungswirkung zukommt.

Fig. 287 endlich zeigt die Zuckungskurve, welche einer Reihe von raſch auf einander folgenden Entladungen entſpricht, wie ſie z. B. bei Inductionsſtrömen ſtattfindet.

Bei mehreren und zwar gerade ſehr wichtigen thieriſch elektriſchen Verſuchen handelt es ſich darum, eine außerordentlich ſchnelle mehr oder weniger große Schwankung der Stromſtärke bemerklich zu machen. Die Beweglichkeit einer Magnetnadel reicht zu dieſem Zwecke nicht mehr aus, während gerade das phyſiologiſche Rheoſkop der oben erwähnten Eigenthümlichkeit wegen in ſolchen Fällen treffliche Dienſte leiſtet, wie wir ſpäter noch in ſpeciellen Fällen ſehen werden.

Nach dieſen Erörterungen wird es wohl nicht zweifelhaft ſeyn, was für ein Urtheil man über diejenigen Unterſuchungen Matteucci's zu fällen hat, welche er in einem Aufſatz: »Mesure sur la force nerveuse développée par le courant electrique« (Annales de Chimie et de Physique

III. Sér. T. XI. pag. 403) veröffentlicht hat und deren Zweck es ist, eine Beziehung zu ermitteln zwischen dem Zinkverbrauch, der zur Hervorbringung eines Stromes nöthig ist, und der mechanischen Wirkung, welche die Zuckung eines Froschschenkels hervorbringt, durch dessen Nerven man jenen Strom leitet. Die Idee, welche diesen Untersuchungen zu Grunde liegt, ist so durchaus falsch, daß ein weiteres Eingehen in die Ergebnisse derselben völlig überflüssig ist.

Vor allen Dingen muß nun bemerkt werden, daß das eben ausgesprochene Gesetz in aller Strenge nur für die Bewegungsnerven gilt. Was die Empfindungsnerven betrifft, so sind sie sämmtlich, so weit sie sich überhaupt dem elektrischen Strome unterthan zeigen, neben der auf Schwankungen der Dichtigkeitskurve auftretenden Wirkung auch einer Reaction auf die Fortdauer der Strömung in beständiger Größe fähig.

Schon Volta spricht von einem eigenthümlichen fortdauernden Gefühl, welches man nach dem Schließen einer Zinksilbersäule von 100 und mehr Plattenpaaren empfindet. Sehr bekannt ist der heftig stechende, brennende Schmerz, den man an verwundeten Hautstellen sogar im Kreise der einfachen Kette verspürt.

Eben so anhaltend ist der elektrische Geschmack.

Was den Gesichtssinn betrifft, so scheint Volta nur den Schließungs- und Oeffnungsblitz gesehen zu haben, Ritter hat aber schon mittelst der einfachen Kette dauernde Lichtwirkungen beobachtet.

Wenn man den Strom einer Säule von 30 bis 40 Plattenpaaren mittelst Sonden in die Ohren einführt, so beobachtet man ein continuirliches Geräusch u. s. w.

Wenn nun aber in den Empfindungsnerven auch der gleichförmig fortdauernde Strom gefühlt wird, so ist doch selbst bei diesen die Wirkung beim Schluß und Oeffnen bedeutend stärker, als die continuirliche.

So zeigt sich denn eine große Aehnlichkeit zwischen der Nervenerregung und der Induction, worauf Marianini zuerst aufmerksam gemacht hat.

Von dem Einfluß der Richtung des Stroms in den Nerven auf die Größe der Erregung. An frisch präparirten Froschschenkeln, welche noch einen hohen Grad von Erregbarkeit besitzen, beobachtet man eine kräftige Oeffnungs- und Schließungszuckung, mag nun die Richtung des Stromes die aufsteigende oder die absteigende seyn. Nimmt aber die Erregbarkeit ab, so sieht man je nach der Strömungsrichtung bald die Oeffnungs-, bald die Schließungszuckung schwächer werden oder ganz verschwinden, während sie bei der entgegengesetzten Stromrichtung noch vorhanden ist. Du Bois hat dies Gesetz der Zuckungen folgendermaßen formulirt. 285

»Man findet in den meiſten Fällen und auf der mittle»ren Stufe der Erregbarkeit, daß, je nach der Richtung, in »welcher der Nerv durchfloſſen wird, bald die Schließungs»und bald die Oeffnungszuckung ſtärker ausfällt, ja daß »nur die eine und die andere gar nicht zum Vorſcheine kommt. »Die ſtärkere Schließungszuckung gehört dem Strome »an, der vom Urſprunge der Nerven nach ihrer Ausbrei»tung gerichtet iſt, die ſtärkere Oeffnungszuckung dem ent»gegengeſetzt kreiſenden.«

Die einfachſte Art, dieſe Erſcheinung zu zeigen, iſt folgende: Man hängt das Galvani'ſche Präparat auf, wie Fig. 288 zeigt, und läßt jeden Fuß in ein mit Waſſer gefülltes Gefäß herabhängen. Jedoch müſſen, was in der Figur nicht richtig dargeſtellt iſt, die beiden Beine vollſtändig von einander getrennt ſeyn, ſo daß jedes Bein nur an ſeinem Nerven hängt und der Strom nicht von einem Bein in das andere gelangen kann, ohne in dem einen Nerven auf-, im andern abzuſteigen. In dieſe Gefäße werden die Poldrähte einer Galvani'ſchen Kette, etwa eines Bunſen'ſchen Elementes, eingetaucht. Durch Herausnehmen und wieder Einſtecken des einen dieſer Drähte aus dem Gefäß kann man nach Belieben die Kette öffnen und ſchließen. Hat die Empfindlichkeit des Präparats bis zu dem entſprechenden Grade abgenommen, ſo ſieht man beim Schließen nur das eine, beim Oeffnen nur das andere Bein zucken.

Denjenigen Strom, welcher von dem Urſprunge gegen die Ausbreitung der Nerven hin gerichtet iſt, kann man kurz den abſteigenden nennen, während man als aufſteigenden Strom denjenigen bezeichnet, welcher ſich im Nerv von der Ausbreitung gegen den Urſprung hin bewegt.

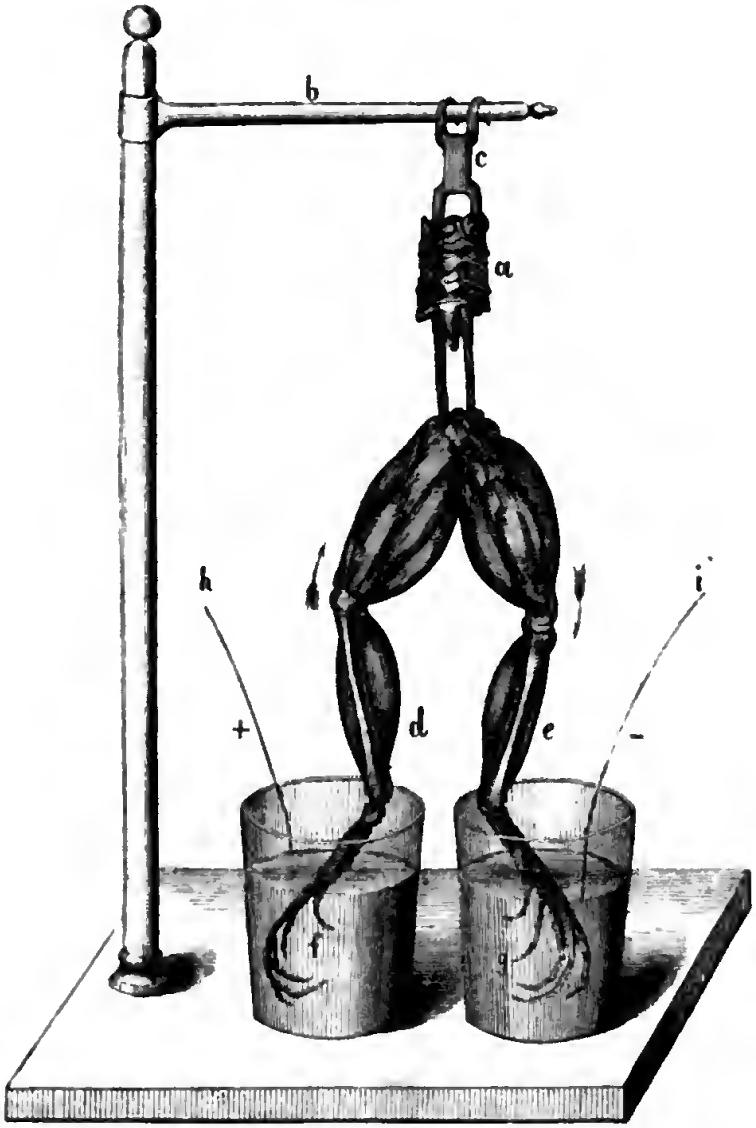
Nach dieſem Geſetze kann man die Richtung eines Stromes ermitteln. Wenn der Schenkel beim Schließen zuckt und nicht beim Oeffnen, ſo hat man mit einem abſteigenden Strome zu thun. Bringt man nun den Nerven in entgegengeſetzter Richtung in die Kette, ſo muß der Schenkel jetzt beim Schließen vergleichsweiſe ruhig bleiben, und zucken, wenn die Kette geöffnet wird.

Die Angaben über Stromesrichtung durch Zuckungen ſind jedoch keineswegs ſo ſicher und präcis, wie diejenigen des Multiplicators, indem häufige Unregelmäßigkeiten vorkommen.

Die erſte mit dem eben erwähnten Zuckungsgeſetz in Beziehung ſtehende Beobachtung wurde ſchon von Volta gemacht und zwar zu einer Zeit, wo er ſich noch zur Galvani'ſchen Anſicht über die Urſache der Zuckung des Froſchſchenkels bekannte. Wie wir bereits Seite 772 geſehen haben,

hat er aber den wahren Zusammenhang seiner Beobachtung noch nicht erkannt, sondern ihm eine unrichtige Deutung gegeben.

Fig. 288.



Als der eigentliche Entdecker der hier in Rede stehenden Gruppe von Thatsachen ist Pfaff zu nennen, der bereits in den Jahren 1793—1795 eine ausführliche und tiefgehende Darstellung derselben gab. Weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand stellten Ritter, Marianini, Nobili, Matteucci und Andere an. Du Bois berichtet sehr ausführlich über diese Arbeiten, er selbst hat über diesen Gegenstand noch keine experimentellen Untersuchungen angestellt.

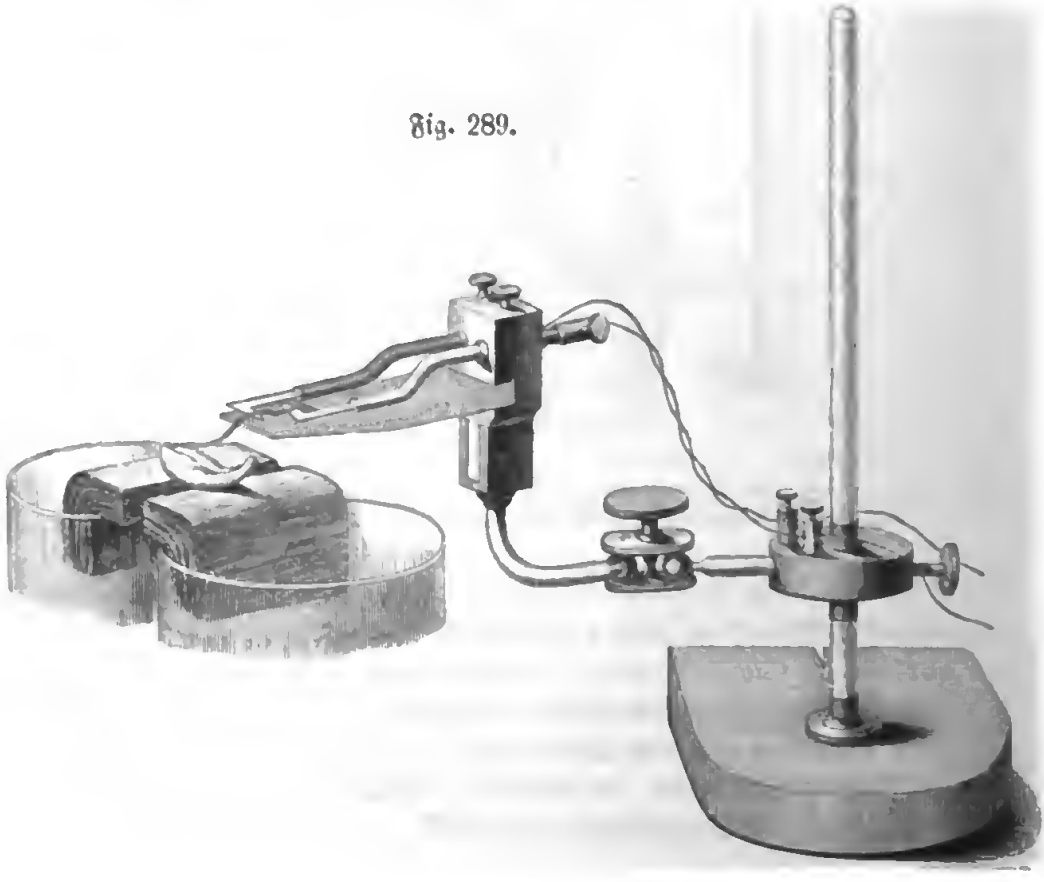
286 **Unipolare Inductionszuckungen.** Es iſt dieſer Erſcheinung bereits früher Erwähnung geſchehen, wir wollen ſie jetzt näher kennen lernen.

Ein 2^{mm} dicker Kupferdraht, welcher in 32 Windungen auf eine Pappröhre von 65^{mm} Durchmeſſer gewunden war, bildete den Hauptdraht des Inductionsapparates, welchen Du Bois zu dieſen Verſuchen anwandte. Auf dieſe war eine Rolle mit 3220 Windungen eines dünnen Kupferdrahtes aufgeſchoben. In die innere Höhlung der Hauptſpirale waren gefirnißte Eiſenſtäbchen eingeſchoben. Der Hauptdraht wurde in den Schließungsbogen einer einfachen Grove'ſchen Kette eingeſchaltet. Die Inductionsrolle war ſorgfältig iſolirt.

Mit dem einen Drahtende der offenen Inductionsſpirale wurde nun der Nerv des ſtromprüfenden Schenkels, im übrigen jedoch ſorgfältig iſolirt, in leitende Verbindung gebracht. Beim Drehen des Unterbrechungsrades, welches in den Hauptſtrom eingeſchaltet war, zuckte nun der Schenkel, wenn entweder das andere Ende des Inductionsdrahtes gut zum Boden abgeleitet war, oder wenn man den Schenkel ſelbſt mit dem Finger ableitend berührte. In letzterem Falle iſt die Zuckung meiſt ſtärker.

Um die Verbindung der Nerven mit dem einen Ende des Inductionsdrahtes herzuſtellen, wandte Du Bois die in Fig. 289 abgebildete

Fig. 289.



Vorrichtung an, die wir später noch genauer werden kennen lernen. Das ganze Stativ stand auf einer wohl isolirenden Unterlage. Der Nerv des stromprüfenden Schenkels war auf eines der Platinschäufelchen aufgelegt, welche die Figur zeigt, während das andere zurückgezogen war.

Hat man einen Froschschenkel, der sich auf der geeigneten Stufe der Erregbarkeit befindet, so ist es leicht, mittelst des im vorigen Paragraphen besprochenen Gesetzes der Zuckungen die Art der Elektricität zu bestimmen, welche den Schenkel durchfließt, wobei jedoch die Oeffnung und Schließung des Hauptstroms natürlich nicht allzu rasch auf einander folgen dürfen. Man sieht den Schenkel dann entweder nur bei der Schließung oder nur beim Oeffnen der Kette zucken. Sind beide Enden des Inductionsdrahtes mit solchen Froschschenkeln versehen, so zucken sie complementär, d. h. der eine zuckt, wenn der andere ruhig bleibt, und umgekehrt. Dabei gilt die Regel, denjenigen Schenkel ableitend zu berühren, der nach dem Gesetz der Zuckungen in Ruhe bleiben soll.

Zurückführung des Froschstromes auf einen allgemein vorhandenen Muskelstrom. Die Art und Weise, wie man mit den von Du Bois angegebenen Vorrichtungen den Strom des Gesammtfrosches nachweist, ist folgende: Die Zuleitungsgefäße sind ohne Bäusche und die Kette ist durch das Schließungsrohr geschlossen. Die Platinplatten sind möglichst weit in den Hintergrund der Gläser zurückgezogen. Der enthäutete Frosch wird mit den Füßen bis zur Mitte des Tarsus in das eine Gefäß getaucht, der Rücken gegen das andere Glas hin gewendet; dann wird der Frosch rücklings mit dem Gesicht und der Nasenspitze behutsam in das andere Gefäß gebracht. 287

Augenblicklich verläßt die Nadel den Nullpunkt und fliegt bei einem hinlänglich empfindlichen Multiplicator, wie der Du Bois'sche ist, gegen die Hemmung. Sie zeigt einen Strom im Frosch von den Füßen zum Kopf, im Multiplicatordraht vom Kopf zu den Füßen, also einen aufsteigenden Strom.

Die Nadel kommt alsbald zwischen 10 und 20° zur Ruhe. Von hier an nimmt die Ablenkung langsam ab und hält sich stunden-, ja tagelang innerhalb der ersten 5—8°.

Wird der Frosch entfernt und statt dessen das Schließungsrohr eingesetzt, so fliegt aus bekannten Gründen die Nadel an die entgegengesetzte Hemmung u. s. w.

An dieſen Fall ſchließt ſich der zuerſt von Nobili am Multiplicator beobachtete Strom des Galvani'ſchen Präparates an.

Man rückt die Gläſer näher und muß nun natürlich auch ein kürzeres Schließungsrohr anwenden. Man taucht die Füße wieder in das eine Gefäß und drückt behutſam das Stück Wirbelſäule in das andere Glas nieder. Im Moment, in welchem die Wirbelſäule die Oberfläche des Salzwaſſers berührt, erfolgt der Ausſchlag der Nadel, während gleichzeitig das Präparat zuckt.

Den gleichen Erfolg am Multiplicator erhält man, wenn man die hintern Extremitäten allein, nach Wegſchneiden der Nerven zu dieſem Verſuch anwendet. Der Ausſchlag wird aber jetzt etwas ſtärker, weil der nicht unbedeutende Leitungswiderſtand der Nervenſtämme fehlt, dagegen bleibt die Zuckung aus.

Auch Matteucci bediente ſich der unteren Extremitäten als Element ſeiner Froſchſäulen; er läßt aber ſtets den nicht nur unnützen, ſondern wegen Vergrößerung des Leitungswiderſtandes und aus ſonſtigen Gründen ſogar ſchädlichen Anhang der Nervenſtämme und eines Stückes Wirbelſäule, obſchon er dadurch gezwungen wurde, auf Anwendung einer beſſern leitenden Flüſſigkeit zu verzichten, weil dieſe durch Anätzen der Nerven ſtörend wirkt.

Der Rumpf für ſich gab in derſelben Richtung einen, wenngleich ſchwächeren Strom. Ein aus den vorderen Extremitäten gemachtes, dem Galvani'ſchen entſprechendes Präparat giebt einen Ausſchlag von 40°; der Strom iſt in den thieriſchen Theilen von den Pfoten nach dem Bruſt- und Schultergerüſt gerichtet.

Das einzelne Bein und der einzelne Arm giebt ebenfalls einen Strom, wenngleich ſchwächer, doch ſtets in gleicher Richtung.

Du Bois wandte ſich nun zur Unterſuchung anderer Thiere, da es undenkbar iſt, daß, wie Matteucci noch lange glaubte, der Froſch allein mit einem ſolchen Strome begabt ſeyn ſollte.

Die oben beſchriebenen Verſuche ſind ſämmtlich mit rana esculenta angeſtellt worden, welcher in der Regel zu phyſiologiſchen Verſuchen verwendet wird. Gleiche Reſultate, nur ſchwächere, geben andere Froſcharten, noch ſchwächer wirken Kröten, welche, wie bereits Humboldt bemerkte, auch durch ihre Trägheit im Antworten auf Galvani'ſche Reizung ausgezeichnet ſind.

Salamandra maculata und Lacerta agilis gaben Ströme. Das Bein einer Taube gab einen abſteigenden, der bloße Unterſchenkel hingegen einen aufſteigenden Strom, und zwar wirkt derſelbe ſtärker, als vorher das ganze Bein.

Ein Kaninchenbein giebt einen ſchwach aufſteigenden Strom u. ſ. w.

Derselbe Strom, welcher bei den eben besprochenen Versuchen Nadelablenkungen bewirkt, bringt auch physiologische Wirkungen hervor, und diese sind ja bereits von Galvani schon beobachtet worden. Du Bois's Vorrichtungen sind nun sehr geeignet, auch die Zuckungen mit Sicherheit und frei von fremden störenden Einflüssen zu beobachten, welche durch die Ströme des thierischen Körpers und seiner Theile hervorgebracht werden.

Der Strom des Gesammtfrosches kann diesen nicht selbst in Zuckung versetzen, weil er an keiner Stelle auf die Nerven allein angewiesen ist, weil er also in den Nerven nie die Dichtigkeit erreichen kann, welche nöthig ist, um eine Zuckung zu veranlassen. Soll der Strom des Gesammtfrosches eine physiologische Wirkung hervorbringen, so muß man sich des stromprüfenden Froschschenkels als Rheoskop bedienen. Die Anordnung des Versuchs ist folgende: In dem einen Zuleitungsgefäß ist ein Bausch angebracht; 10^{mm} davon befindet sich der Zwischenbausch; der Zwischenraum zwischen beiden ist durch ein Stück des Nerven des stromprüfenden Schenkels überbrückt, der natürlich vor der Berührung mit dem Salzwasser durch Eiweishäutchen geschützt seyn muß. Die Füße des Frosches werden nun in das andere Gefäß eingetaucht, in welchem sich kein Bausch befindet, und das Thier rücklings niedergebogen. In dem Augenblick, in welchem die Nasenspitze den Zwischenbausch berührt, zuckt der stromprüfende Schenkel, der natürlich noch auf dem Gipfelpunkte seiner Erregbarkeit stehen muß. Gleichzeitig erfolgt ein Ausschlag der Multiplicatornadel.

Beim Gebrauche des Galvani'schen Präparates mit seinen Nervenstämmen und dem Stück Wirbelsäule wird der Zwischenbausch und der stromprüfende Froschschenkel entbehrlich, es dient seinem eigenen Strome als Rheoskop; am besten macht man den Versuch auf folgende Weise. Die Füße des Präparates tauchen in das eine Glas, das Becken wird auf eine passende Art unterstützt, und das Stück Wirbelsäule ruht in solcher Entfernung, daß die Nervenstämme schlaff herunterhängen auf dem mit Blase überzogenen Bausche des anderen Gefäßes. In dem metallischen Theile des Kreises, in welchem der Multiplicator auch ganz fehlen kann, befindet sich eine Lücke und hier wird mittelst eines Quecksilbernäpfchens die Kette nach Belieben geöffnet oder geschlossen, wobei denn die Zuckungen erfolgen. Die Oeffnungszuckung wird jedoch nur selten wahrgenommen.

Diese Anordnung ist die vollendetste Form des Galvani'schen Versuchs mit gleichartigem Metallbogen.

Um die Zuckung ohne Metalle durch den Strom des Gesammtfrosches hervorzubringen, gebraucht Du Bois folgenden Kunstgriff: er wendet drei Gläser mit Salzwasser und zwei Frösche an. Die Gläser sind so zusammengestellt, daß sie ein gleichschenkliges Dreieck bilden. Bezeichnen

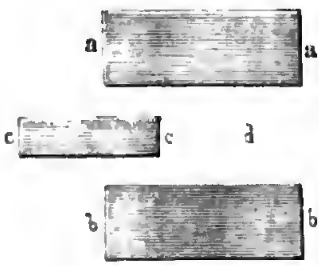
wir mit a und b die beiden Gläser, welche die kürzere Seite dieses Dreiecks bilden, so sind diese mit Bäuschen versehen, so daß der Zwischenraum zwischen denselben mit dem Nerv des stromprüfenden Schenkels überbrückt werden kann. Der eine Frosch bildet nun die Verbindung von a und dem dritten Gefäße c, der andere von b und c und zwar so, daß in c der Kopf des einen und die Füße des anderen Frosches eingetaucht sind. In dem Augenblick, in welchem durch den zweiten Frosch die Kette geschlossen wird, zuckt der Schenkel.

Es ist hier der combinirte Strom beider Frösche, welcher die Zuckung bewirkt.

Um die Zuckung ohne Metalle mit dem Galvani'schen Präparat zu erhalten, ist das folgende, schon von Nobili angewandte Verfahren das zweckmäßigste. Zwei Präparate werden auf einer isolirenden Unterlage so neben einander gelegt, daß sie einen einzigen Kreis bilden, in welchem der vereinigte Strom beider wirksam ist; hierbei müssen die Nerven eines jeden Präparates auf die Muskeln des anderen gelegt werden.

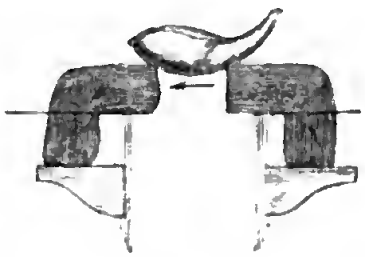
Um durch den Strom, welchen, wie wir bald sehen werden, der Gastroknemius des Frosches liefert, ohne Metalle den stromprüfenden Schenkel zum Zucken zu bringen, kann man folgendes Verfahren anwenden. Zwischen zwei Bäuschen, *a* und *b* Fig. 290, ist der Zwischenbausch *c* auf der einen Seite so eingeschoben, daß auf der anderen Seite der ganze Zwischenraum zwischen *a* und *b* frei bleibt. Der Zwischenraum zwischen *a* und *c* wird durch den Nerv des stromprüfenden Schenkels, der zwischen *b* und *c* durch den Gastroknemius in geeigneter Weise überbrückt, und dann die Kette dadurch geschlossen, daß man auf der anderen Seite bei *d* die leitende Verbindung zwischen *a* und *b* mittelst eines Schließungsbausches herstellt. In demselben Augenblick, wo dies geschieht, zuckt der stromprüfende Schenkel.

Fig. 290.



288 **Von dem Muskelstrome** Schneidet man den großen Wadenmuskel (Gastroknemius) des Frosches, ohne das Fleisch desselben zu verletzen, an dem oberen und unteren sehnigen Ende los und legt ihn, wie Fig. 291 zeigt, auf die Bäusche, so verläßt augenblicklich die Nadel den Nullpunkt, und fliegt, einen Strom im Muskel von der Achillessehne zum

Fig. 291.



Kopfe, also in derselben Richtung anzeigend, wie in allen bisher untersuchten Theilen des Frosches, wider die Hemmung. Dasselbe leistet der große Unterschenkelstrecker (extensor cruris) an der vorderen Fläche des Oberschenkels.

Beim Auflegen verschiedener Oberschenkelmuskeln des Frosches auf's Gerathewohl, stößt man zunächst auf ein völlig regelloses Gewirre von Erscheinungen. Von dem einen nämlich erhält man gar keine Wirkung, von dem anderen Wirkung in aufsteigendem, von noch anderen in absteigendem Sinne. Nicht genug, auch ein und derselbe Muskel giebt, je nachdem man ihn auflegt, dieselben wechselnden Erfolge. Dasselbe ist der Fall für die Muskeln anderer, sowohl warm- als kaltblütiger Thiere.

Daraus geht hervor, daß auch wohl bei verschiedenen Muskeln die Verschiedenheit der Wirkungsweise auf der Veränderung der Bedingungen beruhen dürfte, unter denen die Ströme von ihnen gewonnen werden, da es doch wahrscheinlich ist, daß sie alle nach einem und demselben Gesetz elektromotorisch wirken. — Der Froschstrom und die ihm entsprechenden thierisch elektrischen Ströme sind nun auf einen allgemeinen Muskelstrom zurückgeführt; wir dürfen sie bis auf Weiteres als die Resultanten aus den verschieden gerichteten und verschieden starken Partialströmen betrachten, welche im Innern der thierischen Glieder von den einzelnen Muskeln ausgehen. Die scheinbare Beständigkeit der aufsteigenden Strömungsrichtung am Frosche ist somit in eine bloße Zufälligkeit aufgelöst.

Um das Gesetz des Muskelstromes zu finden, untersuchte nun Du Bois das Verhalten eines und desselben Muskels bei veränderter Art des Auflegens auf die Bäusche. Er wählte dazu vorzugsweise solche Muskeln, welche meist gar keinen Strom geben, wenn sie mit ihren sehnigen Enden die Bäusche berühren, wie Fig. 292 darstellt. Um den Muskel auf diese Weise zwischen die Bäusche bringen zu können, wird er von einer vorn zugespitzten Glasplatte getragen, wie man Fig. 293 sieht. Diese Glasplatte ist an einem passenden Statif befestigt.

Fig. 292.

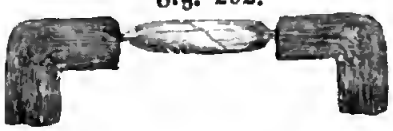
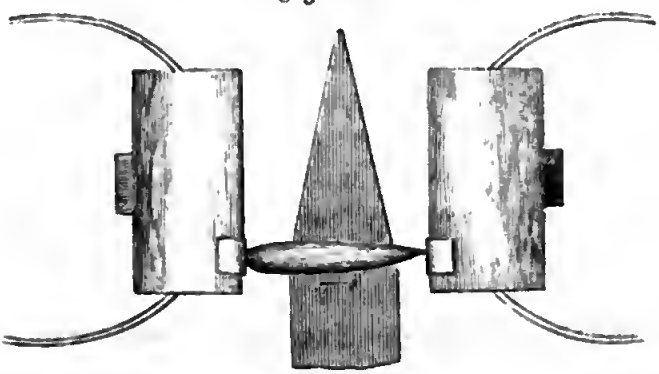


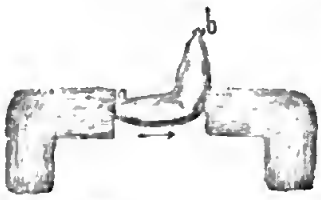
Fig. 293.



Am geeignetsten ist zu diesen Versuchen der Musculus semi membranosus.

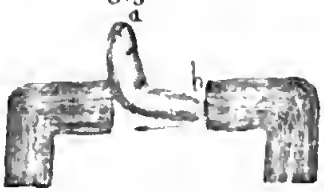
Bei der eben betrachteten Lage giebt alſo dieſer Muskel keinen oder nur einen ſehr ſchwachen Strom. Hebt man aber nun das eine Ende *b* des Muskels in die Höhe, und ſchiebt man dann die Gläſer zuſammen, ſo daß der eine Bauſch das rothe Muskelfleiſch berührt, während das ſehnige Ende *a* des Muskels gegen den andern Bauſch anſtößt, wie Fig. 294, ſo erfolgt ein kräftiger Ausſchlag, welcher im Muskel einen Strom vom ſehnigen Ende gegen die berührte Stelle des Muskelfleiſches anzeigt.

Fig. 294.



Bringt man den Muskel, nach Ausgleichung der Ladungen in die Lage Fig. 295, ſo erfolgt abermals ein Ausſchlag, welcher wiederum einen Strom im Muskel von der Sehne zum Fleiſch anzeigt. Iſt *a* das Kopfende des Muskels, ſo hatte man alſo in dem Fig. 294 dargeſtellten Falle einen abſteigenden Strom, in dem Falle aber, welchem die Fig. 295 entſpricht, einen aufſteigenden. Man ſieht daraus, daß ſich die Bezeichnung des »aufſteigenden« oder »abſteigenden« Stromes auf etwas ganz Unweſentliches bezieht.

Fig 295.



In der Lage, Fig. 296, wo nur rothes Muskelfleiſch auf beiden Seiten die Bäuſche berührt, bleibt in günſtigen Fällen das Gleichgewicht der Nadel ungeſtört.

Fig. 296.

Auf den erſten Anblick ſcheint es, als könne man aus dieſen Erfahrungen einen Schluß auf die Ungleichartigkeit des rothen Fleiſches und des Sehnengewebes an den Enden der Muskeln ziehen; wir werden jedoch bald ſehen, daß dies nicht der Fall iſt, daß vielmehr die Sehne hier die Rolle eines unwirkſamen leitenden Ueberzuges ſpielt.

Stellt man nämlich an einem in warmem Waſſer oder in verdünntem Alkohol erhärteten Muskel durch Zerreißen oder Zerſchneiden in der Richtung der Faſern einen Längsdurchſchnitt derſelben dar, wozu ſich der Wadenmuskel oder der große Unterſchenkelſtrecker abermals vorzüglich eignen, ſo gewahrt man bald, daß der ſehnige Ueberzug, die Achillesſehne z. B., ſich kaum über die Punkte hinaus erſtreckt, wo ſich an denſelben die Enden der Primitivmuskelbündel anzuſetzen aufhören. Ein Blick auf Fig. 297 lehrt, daß die Sehne *ab* betrachtet werden könne als ein Ueberzug über den natürlichen Querſchnitt des Muskels, wenn man unter ſeinem Querſchnitt eine ſo beſchaffene Flächenbegränzung verſtehen will, daß da-

Fig. 297.

rin nur Grundflächen der als Prismen oder als Cylinder gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind. Eben so sieht man, daß alsdann das, was wir bisher als rothes Fleisch bezeichneten (*bc*), als der natürliche Längsschnitt des Muskels angesehen werden muß, wenn wir nämlich unter einem Längsschnitt eine so beschaffene Flächenbegränzung an demselben verstehen wollen, daß darin nur Mäntel oder Seitenflächen der als Cylinder oder als Prismen gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind. Die Annahme, daß diese beiden Flächenbegränzungen am Muskel, sein natürlicher Längsschnitt und sein natürlicher Querschnitt sich untereinander ungleichartig verhalten, reicht nun zur Erklärung der eben angeführten Erscheinungen aus, wenn man die Sehnen als einen indifferenten leitenden Ueberzug betrachtet.

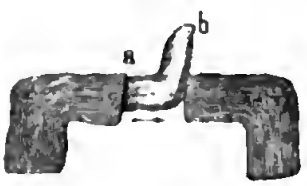
Es ist nun unwahrscheinlich, daß die Ungleichartigkeit des natürlichen Querschnittes, wenn es wirklich eine solche giebt, nur an der Oberfläche desselben haften solle. Es ist vielmehr viel ansprechender, sich zu denken, daß sie nichts als der Ausdruck der Ungleichartigkeit des Inneren aller Primitivmuskelbündel gegen ihr Aeußeres sey. Ist dies der Fall, so muß sich auch ein künstlicher Querschnitt ähnlich verhalten, wie der natürliche Querschnitt.

Schneidet man einen Muskel mit einer scharfen Scheere quer durch, so verhält sich in der That dieser künstliche Querschnitt in allen Fällen ganz so wie der natürliche mit der Sehne bekleidete Querschnitt in den Fig. 294 bis Fig. 296 dargestellten Fällen. Der von zwei künstlichen Querschnitten begränzte mittlere Theil des Muskels in der Fig. 298 dargestellten Weise zwischen die Bäusche gebracht, giebt keinen Strom, oder doch nur schwache Wirkungen, bald in der einen, bald in der anderen Richtung, was daher rührt, daß es sehr schwer hält zu verhindern, daß nicht auf der einen oder anderen Seite die Kante zwischen dem künstlichen Querschnitt und dem natürlichen Längsschnitt sich etwas umlege, so daß auch einige Punkte der Mantelfläche der äußeren Muskelfasern mit dem Bausch in Berührung kommen.

Fig. 298.

Diese Wirkungen sind jedoch verschwindend gegen diejenigen, welche die Anordnung, Fig. 299, bei welcher einerseits der künstliche Querschnitt, andererseits der natürliche Längsschnitt an den Bäuschen anliegt, hervorbringen; hier fliegt die Nadel, wenigstens bei dickeren Muskeln, gegen die Hemmung, stets einen Strom im Muskel vom künstlichen Querschnitt zum natürlichen Längsschnitt anzeigend.

Fig. 299.



Da also der natürliche Querschnitt durch einen künstlichen Querschnitt

ersetzt werden kann, so ließ sich erwarten, daß auch der natürliche Längsschnitt durch einen künstlichen Längsschnitt ersetzt werden könne, welchen man durch eine Spaltung des Muskels in der Richtung der Fasern erhält.

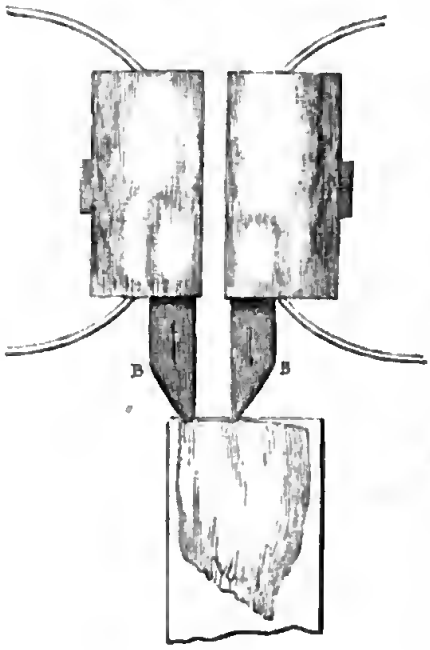
Der Versuch zeigt nun, daß sich der künstliche Längsschnitt elektromotorisch gerade ebenso verhält, wie der natürliche Längsschnitt.

So ist denn durch die bisherigen Versuche die Thatsache erwiesen, daß jeder Punkt eines natürlichen oder künstlichen Längsschnittes am Muskel sich positiv verhält gegen einen Punkt am natürlichen oder künstlichen Querschnitt.

Es ist aber nun zu untersuchen, wie sich verschiedene Punkte desselben Querschnittes zu einander verhalten, ebenso, ob verschiedene Punkte desselben Längsschnittes elektromotorisch gleichartig sind oder nicht.

Die Muskeln des Frosches sind zu klein, um das elektromotorische Verhalten verschiedener Punkte desselben Querschnittes gegen einander zu untersuchen. Du Bois wählte zu dieser Untersuchung Muskeln vom Kaninchen; am tauglichsten dazu ist der Triceps femoris. Der Querschnitt wird mit einem möglichst scharfen Instrument dargestellt, wobei alles Sägen zu vermeiden ist, damit er ganz rein sey und nicht treppenförmige Absätze zeige. Die Art, wie der Versuch angestellt wird, ist aus Fig. 300 ersichtlich. Die Hülfsbäusche *B* und *B'*, welche nur aus wenigen Lagen Fließpapier bestehen und gleichfalls mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt sind, werden mit ihren breiteren Enden entweder zwischen die Lagen der gewöhnlichen Bäusche eingeklemmt oder sie werden nur auf dieselben aufgelegt; ihre Spitzen werden dann, wie es die Figur andeutet, mit verschiedenen Punkten des Querschnittes in Berührung gebracht.

Fig. 300.



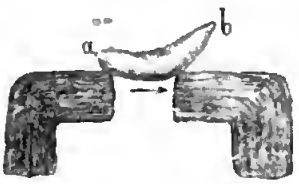
Das Ergebniß dieser Untersuchung ist nun wirklich Ungleichartigkeit der verschiedenen Punkte des Querschnittes. Es verhalten sich nämlich solche Punkte, welche der Mitte des Querschnittes näher liegen, elektromotorisch negativ gegen solche, welche weiter von derselben entfernt sind.

Der Strom, welchen man von zwei verschiedenen Punkten des Querschnittes erhält, ist übrigens weit schwächer als der, welchen man erhält, wenn man eine leitende Verbindung zwischen einem Punkte des Querschnittes und einem Punkte des Längsschnittes herstellt. Während im letzteren Falle die Nadel an die Hemmung fliegt, beträgt hier der Ausschlag nur 10 bis 25 Grad.

Der natürliche Querschnitt zeigt ganz dasselbe Verhalten, wie der künstliche, wie dies Du Bois durch Versuche am Sehnenspiegel mehrerer Muskeln vom Kaninchen nachgewiesen hat.

Ebenso sind auch die verschiedenen Punkte des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes eines Muskels keineswegs unter sich gleichartig. Wenn die beiden auf die Bäusche aufgelegten Punkte des Muskels gleichweit von der Mitte desselben abstehen, so erhält man keine oder doch nur eine ganz schwache Wirkung, wie wir bereits oben gesehen haben; legt man aber den Muskel so auf, daß der eine berührende Punkt weiter von dem mittleren Querschnitt des Muskels entfernt ist, als der andere, wie dies Fig. 301 zeigt, so erhält man stets einen Strom, welcher im Muskel von dem näher gegen das Ende desselben liegenden Berührungspunkte gegen den anderen hingeht; an der äußeren Mantelfläche des Muskels sind also alle Punkte, welche dem mittleren Querschnitt näher liegen, positiv gegen solche Punkte, welche dem Ende des Muskels näher sind.

Fig. 301.



Die Stärke der Ströme, welche von zwei verschiedenen Punkten des Längsschnittes eines Muskels erhalten werden, ist gleichfalls weit geringer, als die Stärke derjenigen Ströme, welche vom Längsschnitt zum Querschnitt gehen.

Dies sind die Grundzüge des von Du Bois ermittelten Gesetzes des Muskelstromes, durch welches die Elektrophysiologie auf einen ganz neuen Standpunkt gehoben worden ist.

Das Gesetz des Muskelstromes ist nicht etwa an einzelne Thiergattungen gebunden, es ist, nach Du Bois's Versuchen, über das ganze Thierreich verbreitet. Er hat die Negativität des künstlichen Querschnittes gegen den natürlichen Längsschnitt beobachtet an Muskeln vom Menschen (Muskeln eines eben amputirten Beines), vom Kaninchen, vom Meerschweinchen, von der Hausmaus, — der Taube und dem Sperling; — der Schildkröte, Eidechse, Ringelnatter, Blindschleiche, verschiedenen Arten von Fröschen und Kröten, dem Erd- und dem Wassermolch; — vom Schley, Flußkrebs und Regenwurm. Bei letzterem wurden die ganzen Stücke des walzenförmigen Körpers ohne weiteres als Muskel aufgelegt.

289 **Zur Geſchichte des Geſetzes des Muskelſtroms.** Ohne Zweifel gebührt keinem Anderen als Du Bois die Ehre als Entdecker des Geſetzes des Muskelſtromes genannt zu werden, denn er iſt es, welcher zuerſt einem bloßen Stücke Muskel einen Strom entlockte, welcher den Gegenſatz des natürlichen oder künſtlichen Querſchnittes zum natürlichen oder künſtlichen Längsſchnitt nachgewieſen hat. Dieſe Nachweiſung findet ſich bereits in ſeinem »vorläufigen Abriſſe.« Die Differenzen zwiſchen verſchiedenen Punkten deſſelben Querſchnittes oder verſchiedenen Punkten deſſelben Längsſchnittes hatte er damals noch nicht ermittelt.

Sehen wir nun, was Matteucci auf dieſem Felde geleiſtet hat. Im September 1841 machte er in den Comptes rendus die Beobachtung bekannt, daß, wenn der innere Theil eines lebenden oder faſt lebenden Muskels durch einen Galvanometerdraht oder durch den Nerv eines ſtromprüfenden Froſchſchenkels mit irgend einem anderen Theile deſſelben Thieres, der Oberfläche des Muskels, der Haut u. ſ. w. in Verbindung gebracht wird, ein Strom entſteht, welcher im Thiere von dem muskulöſen Theile zu dem geht, welcher es nicht iſt.

Am 21. Februar 1842 und am 17. October deſſelben Jahres machte Dumas der Pariſer Akademie weitere Mittheilung über Matteucci's Beobachtung der Negativität des Muskelinnern; in der erſten dieſer Mittheilungen wird geſagt, daß der Strom im Thier vom Innern des Muskels oder vom Nerv zu ſeiner Oberfläche oder ſeiner Sehne gerichtet ſey.

Man ſieht hieraus, wie weit Matteucci noch von der richtigen Erkenntniß des Geſetzes des Muskelſtromes entfernt war, daß er keine Ahnung hatte von dem Gegenſatze der Mantelfläche und des Querſchnitts der Primitivmuskelbündel. Er gab den von ihm gemachten Beobachtungen ſogleich eine falſche Deutung und wußte ſie nicht bis zur Ermittelung des wahren Zuſammenhanges zu verfolgen. In der zweiten Mittheilung, welche Dumas der Akademie über Matteucci's Arbeiten machte, iſt nur die Rede von den Zuckungen des ſtromprüfenden Schenkels, welche man erhält, wenn man ſeinen Nerv in die Wunde eines bloßgelegten, transverſal durchſchnittenen Bruſt- oder Schenkelmuskels einer Taube einführt.

Im November deſſelben Jahres publicirte Matteucci einen Aufſatz, in welchem er über eine Säule von Froſchſchenkeln berichtet. Die Schenkel allein, ohne Nerven und Unterbein, wurden quer durchſchnitten und die Säule ſo zuſammengeſetzt, daß die innere Muskelfläche eines jeden mit der äußeren Fläche des folgenden Stücks in Berührung kam. Der Strom war im Muskel ſtets von der inneren zur äußeren Muskelfläche gerichtet. — In dieſem Aufſatze findet ſich denn untern anderen auch

wieder die schon oben erwähnte Identificirung von Nerv und Muskelinnerem gegenüber von Sehne und Muskeloberfläche ausgesprochen.

Vergleicht man den Gang dieser Untersuchungen mit dem der Du Bois'schen, so wird wohl schwerlich ein Zweifel gegen die Selbstständigkeit der Arbeiten Du Bois's aufkommen können.

Gehen wir nun zu denjenigen Untersuchungen über, welche Matteucci in Betreff unsers Gegenstandes nach dem Erscheinen von Du Bois's »vorläufigem Adriß« publicirt hat. Die bis zum Jahre 1844 erhaltenen Resultate finden wir in seinem Traité u. s. w. zusammengestellt.

Hier erfährt man Näheres über die Größe der Wirkungen, die er mit seinen Schenkelsäulen am Multiplicator hervorbrachte. Eine Säule von 3 halben Oberschenkeln des Frosches ergab 15° Ausschlag, als Wasser, 35°, als eine Kochsalzlösung, die Zuleitungsflüssigkeit war. Bedenkt man, daß bei den von Du Bois angewandten Vorrichtungen ein einziger Muskel die Nadel an die Hemmung warf, also eine ungleich größere Wirkung hervorbrachte, als Matteucci mit ganzen Schenkelsäulen erreichen konnte, so ist dieser Vergleich wohl geeignet, die bedeutende Ueberlegenheit der Du Bois'schen Methode zu experimentiren über die rohen Versuche, mit welcher Matteucci auftritt, darzuthun.

Eine große Verwirrung hat Matteucci dadurch angerichtet, daß er lange Zeit einen Unterschied zwischen Froschstrom und Muskelstrom machte. Diese Unterscheidung spricht er selbst in seinem Traité, also im Jahre 1844 noch aus. Er stellt hier noch die Behauptung auf, alle Thiere besäßen einen Muskelstrom; nur der Frosch sey außerdem noch mit einem ohne nachweisbaren Grund in allen Theilen desselben vorhandenen aufsteigenden Strom ausgestattet, welcher der Froschstrom genannt wird.

Erst im März 1845 sieht er die Einerleiheit des Frosch- und Muskelstromes ein und lernt die Negativität der Sehne kennen, er publicirt sie im Jahre 1846 dreimal hinter einander, als das wichtigste Ergebniß seiner neuesten Untersuchungen, obgleich er vom September 1845 an eingestandenermaßen Du Bois's Abhandlung kennt.

Erörterung des elektromotorischen Wirkungsgesetzes des Muskelgewebes. Wir haben gesehen, daß ein Muskel elektromotorische Wirkungen giebt, er mag von künstlichen oder natürlichen Längs- oder Querschnitten begränzt seyn; wir haben ferner gesehen, daß auch ein nur von künstlichem Längs- und Querschnitt begränztes Muskelstück auch noch elektromotorisch wirkt. Es ist nun zu untersuchen, welches die elektromotorischen Elemente sind, aus denen der Muskel zusammengesetzt ist. In dem »vorläufigen Abriß«, erwähnt Du Bois Versuche, die 290

er mit Muskelfetzchen anſtellte, die oft nur aus 10 bis 15 Primitivmuskelbündeln beſtanden und welche in ihren wirkſamen Lagen 8 bis 10 Grad Ausſchlag, durch Umlegen 15 bis 18 Grad gaben. Später iſt es ihm geglückt, von einem einzigen wirkſam aufgelegten Primitivmuskelbündel 8 bis 10 Grad Ausſchlag zu erhalten.

Dies iſt der Punkt, bis zu dem es verſtattet iſt, mit der unmittelbaren Beobachtung vorzudringen. — Wir werden dadurch zu der Annahme geführt, daß es das Primitivmuskelbündel iſt, in welchem der Strom erzeugt wird.

Es iſt nun zu unterſuchen, wie wohl die ungleichartigen Beſtandtheile in dem Primitivmuskelbündel angeordnet ſeyn müſſen, damit daſſelbe die Erſcheinungen hervorbringe, welche wir bereits kennen gelernt haben. Es fragt ſich, ob es nicht möglich iſt, eine Vorrichtung zu conſtruiren, mittelſt deren man alle die elektriſchen Erſcheinungen des Muskels nachahmen kann?

Auf den erſten Blick ſcheint folgende Vorrichtung dieſe Bedingung zu erfüllen. Man denke ſich einen durch und durch kupfernen, am Mantel verzinkten, an den Grundflächen roth gebliebenen Cylinder. Legt man einen, aus einem feuchten Leiter beſtehenden Bogen mit einem ſeiner Enden an den Mantel, mit dem andern an eine der Grundflächen dieſes Cylinders an, ſo wird man ſtets einen Strom haben, der in dem Schließungsbogen vom Mantel zur Grundfläche geht. Schneidet man den Cylinder ſenkrecht auf die Axe durch, ſo leiſtet jedes Bruchſtück daſſelbe.

Soweit leiſtet die Anordnung, was ſie ſoll; allein die feineren Züge der Erſcheinung, welche wir am Muskel kennen lernten, kann ſie nicht hervorbringen. Berührt nämlich der Bogen zwei Punkte der Mantelfläche allein, ſo wird kein Strom entſtehen; eben ſo wenig, wenn man zwei Punkte der Grundfläche allein berührt, während wir doch im Muskel ſchwache Ströme zwiſchen verſchiedenen Punkten des Längsſchnittes ſowohl, wie zwiſchen verſchiedenen Punkten des Querſchnittes gefunden hatten.

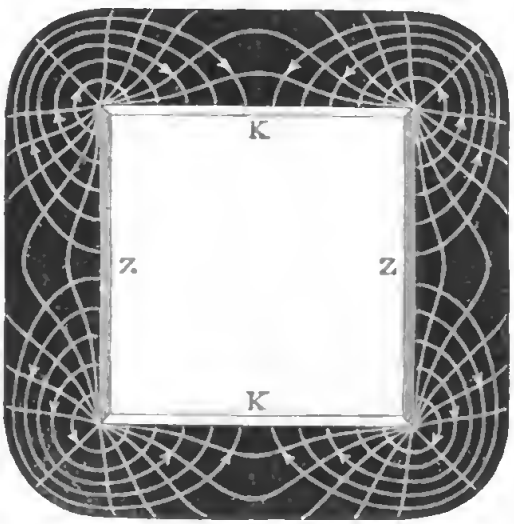
Um der Forderung zu entſprechen, daß das künſtliche Schema auch ſolche Ströme gebe, müſſen wir uns den eben beſprochenen kupfernen, am Mantel verzinkten Cylinder ringsum von einem feuchten Leiter umgeben denken, welcher auf allen Punkten eine Schicht von gleicher Höhe bildet.

Von einem ſolchen flüſſigen Leiter umgeben, wird an unſerm Zinkkupferſchema ein beſtändiger Strömungsvorgang ſtattfinden; es werden beſtändig Ströme von den verſchiedenen Punkten des verzinkten Mantels durch die Flüſſigkeit zum kupfernen Querſchnitt gehen. Stellt man nun außerhalb eine leitende Verbindung zwiſchen zwei verſchiedenen Punkten der Oberfläche der feuchten Hülle her, ſo wird dadurch eine Nebenſchlie-

ßung hervorgebracht. Die in dieser Nebenschließung cursirenden Ströme sind es denn, welche, wenn sich diese Ansicht bewährt, den Strömen entsprechen, welche wir in den, an verschiedenen Punkten des Muskels angelegten Schließungsbogen beobachteten.

Fig. 302 stellt den Durchschnitt eines Kupferzinkschemas dar, welches ringsum mit einer flüssigen Hülle umgeben ist. Beim Entwerfen der Figur ist die Höhe des metallischen Cylinders seinem Durchmesser gleich angenommen worden. Die von den Zinkseiten zu den Kupferflächen gehenden (durch kleine Pfeilspitzen bezeichneten) Linien stellen die Strömungskurven dar, d. h. die Linien, nach welchen ungefähr die von verschiedenen Punkten der Zinkseiten ausgehenden positiven Ströme durch die flüssige Hülle zu den entsprechenden Punkten der Kupferflächen übergehen.

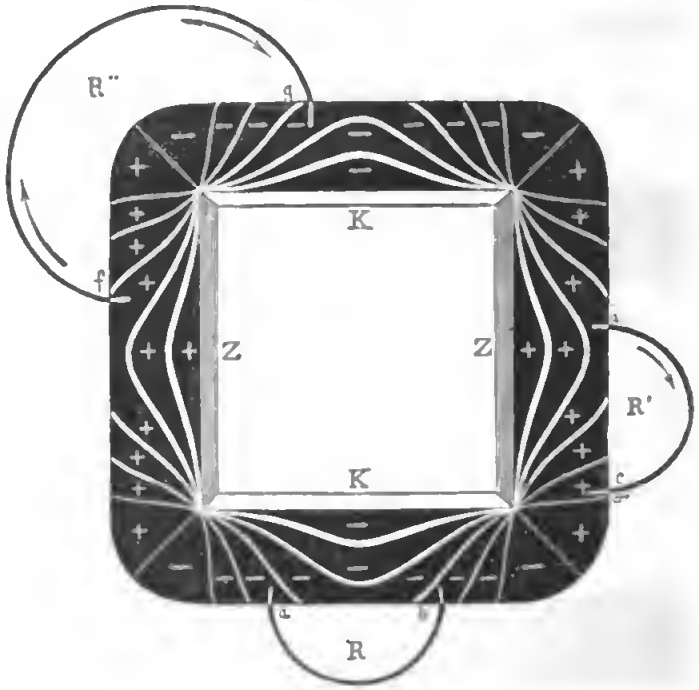
Fig. 302.



Mit Hülfe der Strömungskurven kann man nun auch den ungefähren Lauf der Kurven gleicher elektrischer Spannung in der Flüssigkeit verfolgen, welche Du Bois isoelektrische Kurven nennt. — Zwischen der Zinkfläche und der Kupferfläche unsers Schemas wird nämlich stets ein bestimmter elektrischer Gegensatz stattfinden. Betrachten wir nun irgend eine Strömungskurve, welche einen Punkt der Zinkseite mit einem Punkte der Kupferfläche verbindet, so ist klar, daß in der Mitte dieser Kurve die elektrische Spannung gleich Null ist. Von diesem neutralen Punkte an nimmt aber die positive Spannung auf derselben Strömungskurve um so mehr zu, je mehr man sich der Zinkseite nähert, während auf der anderen Seite mit der Annäherung gegen die Kupferfläche die negative Spannung zunimmt. Denken wir uns nun ein zweites Kurvensystem so gelegt, daß die neuen Kurven die Strömungskurven rechtwinklig schneiden, wie dies in der Figur wirklich ausgeführt ist, so sind dies die isoelektrischen Kurven, d. h. diejenigen, welche die Punkte gleicher elektrischer Spannung in der Flüssigkeit mit einander verbinden. In Fig. 303 (s. f. S.) sind die isoelektrischen Kurven allein ohne die Strömungskurven verzeichnet, und zwar sind sie um so stärker ausgezogen, je größer an der entsprechenden Stelle die elektrische Spannung ist. Die

Natur der elektriſchen Spannung an verſchiedenen Punkten der Flüſſigkeit iſt durch + und — bezeichnet.

Fig. 303.



Mit Hülfe dieſer Figur kann man leicht überſehen, was erfolgen wird, wenn man einen leitenden Bogen an verſchiedenen Stellen der feuchten Hülle anlegt.

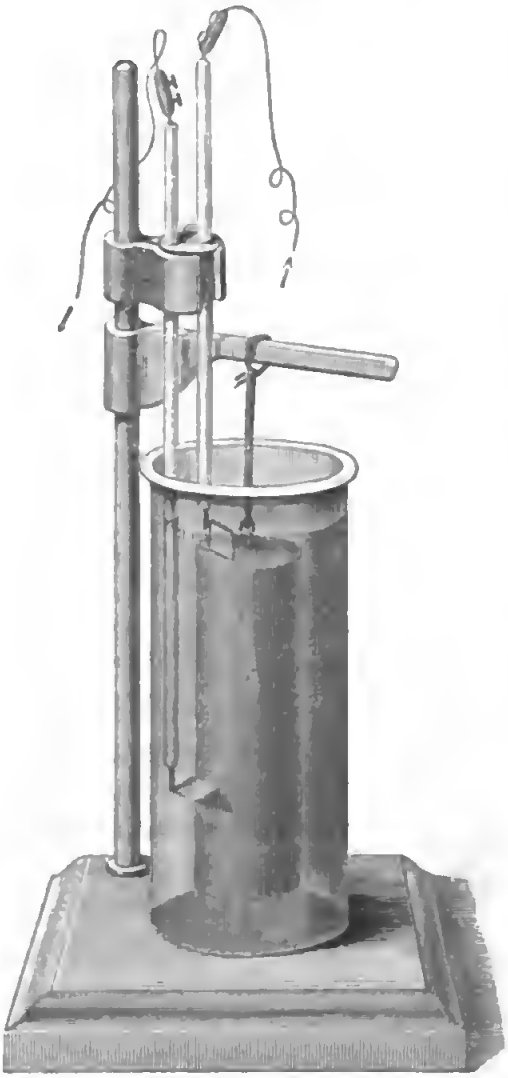
Iſt der Schließungsbogen ſo angelegt, wie R, daß ſeine Enden a und b gleichweit abſtehen von der Mitte der berührten Seite, ſo kann kein Strom in dieſem Schließungsbogen entſtehen, weil bei a und bei b gleiche Spannung der gleichen Elektricität ſtattfindet. — Wird der leitende Bogen aus der Mitte weggerückt, wie dies bei R' der Fall iſt, ſo iſt die Dichtigkeit der Elektricität an den beiden Fußpunkten des Bogens nicht mehr dieſelbe; zwar findet ſich dieſelbe Elektricität bei c und bei d, nämlich poſitive, da aber bei d eine ſtärkere Spannung herrſcht, ſo muß nothwendig ein Strom von d nach c entſtehen.

Weit ſtärker wird der Strom werden müſſen, wenn der eine Fußpunkt des leitenden Bogens über die Kupfer-, der andere über die Zinkſeite zu ſtehen kommt, wie dies bei R'' der Fall iſt, denn f berührt an einer Stelle wo ſich poſitive, g an einer Stelle wo ſich negative Elektricität vorfindet.

Du Bois hat nun dieſe Folgerungen auch durch das Experiment zu beſtätigen geſucht. Nach mehreren anderen Verſuchsformen kam er auf folgende, welche die Erſcheinungen des Muskelſtroms ſehr treu darſtellt. Ein Cylinder von Kupferblech, deſſen Mantel verzinkt war, während ſeine

Grundflächen roth blieben, hatte eine Höhe von 155^{mm} und einen Durchmesser von 55^{mm}. Das Zink an seinem Umfange war amalgamirt. Er hing mittelst eines wohlgefirnißten Hakens an einer Schnur in einem mit Wasser gefüllten cylindrischen Glase von 90^{mm} Durchmesser, Fig. 304.

Fig. 304.



Der Halter, welcher den Cylinder trug, führte zugleich eine Klemme, welche einen doppelt durchbohrten Kork enthielt. In jeder Durchbohrung ließ sich ein Glasrohr auf- und niederschieben, in welches ein übersponnener Kupferdraht eingekittet war. An dem unteren Ende des Drahtes war eine quadratische Platinplatte von 15^{mm} Seite angelöthet. Es versteht sich von selbst, daß der aus dem Glasrohr hervorragende Theil des Kupferdrahtes sammt der Löthstelle hinlänglich stark mit Kitt überzogen ist, so daß das Kupfer durchaus nicht mit der Flüssigkeit in Berührung kommen kann. Die Platinplatten, welche den Zinkseiten des Cylinders gegenüber stehen sollen, haben eine horizontale Lage, während diejenigen, welche den kupfernen Grundflächen gegenüber zu stehen bestimmt sind, eine verticale Stellung haben. Die Enden der oben aus den Glasröhren hervorragenden Drähte waren mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Die in unserer Figur dargestellte Anordnung gab in der Richtung, welche durch die Pfeilchen an den Zuleitungsdrähten angedeutet ist, einen Strom, welcher einen Ausschlag der Multiplicatornadel um 15 bis 20° bewirkte. — Waren der Mantelfläche gegenüber zwei horizontale Platinplatten so

angebracht, daß die eine eben ſo hoch über dem Höhenmittel des Cylinders ſich befand, als die andere unter demſelben angebracht war, ſo erhielt man gar keinen Strom; wurden beide Platten bei unveränderter Entfernung in die Höhe gezogen, ſo zeigte ſich ein ſchwacher Strom, der im Multiplicator einen Ausſchlag von 5 — 10° bewirkte. Eben ſolche ſchwache Ausſchläge erfolgten, wenn zwei verticalſtehende Ableitungsplatten ſo über die obere Kupferfläche angebracht wurden, daß ſie ungleich weit von der Mitte derſelben abſtanden, daß alſo die eine dem Rande des Cylinders näher war als die andere.

Nun aber giebt jedes einzelne Bruchſtück eines Muskels noch Ströme und zwar ſtets nach demſelben Geſetze; wir müſſen demnach annehmen, daß der Muskel aus einer ganzen Reihe elektromotoriſcher Elemente beſtehe, von denen jedes einzelne in ſeiner Wirkungsweiſe durch das Kupferzinkſchema in Fig. 302 verſinnlicht werden kann.

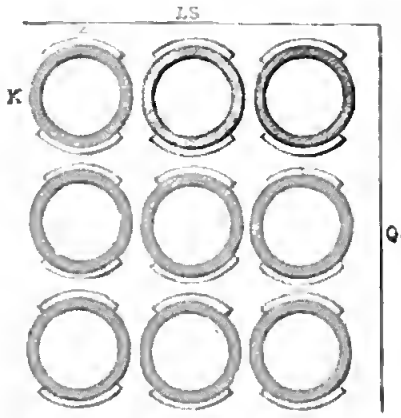
Es iſt gleichgültig, welche Form man für dieſe elektromotoriſche Muskelmolekeln annehmen will, nur müſſen ſie zwei negative Polar- und eine poſitive Aequatorialzone beſitzen; ferner müſſen die Axen aller einzelnen Molekeln unter ſich und zwar mit der Axe des Muskelbündels parallel ſeyn. Denken wir uns die elektromotoriſchen Muskelmolekeln kugelförmig, ſo ſtellt Fig 305 nach der eben beſprochenen Annahme ſchematiſch einen Muskellängsſchnitt dar. Die negativen Polarzonen ſind dunkler, die poſitive Aequatorialzone iſt heller gehalten. Die vertikale Begränzung ſtellt den Längsſchnitt, die horizontale ſtellt den Querſchnitt dar, der ſchraffirte Grund iſt unwirkſamer feuchter Leiter.

Fig. 305.

Auch dieſe Vorſtellungsweiſe hat Du Bois an einem Zinkkupferſchema geprüft; er ließ Röhren aus Kupferblech 11^{mm} im Durchmeſſer ziehen und dem Mantel derſelben entlang, einander diametral entgegengeſetzt, zwei Zinkſtreifen von ſolcher Breite auflöthen, daß der Umfang der Röhren dadurch in vier gleich breite Streifen, abwechſelnd von Zink und Kupfer, getheilt war. Die Röhren wurden ſenkrecht auf ihre Axe in lauter 12,5^{mm} lange Stücke geſchnitten, das Zink amalgamirt, das Kupfer inwendig gefirnißt und die Elemente, 72 an der Zahl, mit ihren

kreisförmigen Rändern, ſämmtlich in etwa 1mm Entfernung von einander, in 6 Reihen auf ein Brettchen von 145mm Länge und 85mm Breite ſo aufgekittet, daß ihre Zinkſeiten ſämmtlich der langen, ihre Kupferſeiten ſämmtlich der kurzen Seite des Brettes zugekehrt waren. Fig. 306 ſtellt ein Stück dieſer Vorrichtung im Grundriß von unten geſehen dar.

Fig. 306.



Das Brettchen, welches die 72 Elemente trug, war gefirnißt und an ſeiner oberen Fläche mit einem Griff verſehen, mittelſt deſſen daſſelbe in einen 182mm langen, 119mm breiten und 6mm hoch mit Waſſer gefüllten Trog eingeſenkt wurde. Beim Einſenken ſtieg natürlich das Waſſer im Troge, weil die im Innnern der Röhrchen enthaltene Luft nicht entweichen konnte.

Dieſe Vorrichtung gab nun zwiſchen Längs- und Querſchnitt 20° Ablenkung, und als die Ableitungsplatten vor dem Längsſchnitt allein oder vor dem Querſchnitt allein ſich befanden, 8 bis 10° in dem durch das Geſetz des Muskelſtromes geforderten Sinne.

Aus dieſen Unterſuchungen geht nun hervor:

1) daß der elektromotoriſche Muskel fortwährend als im Zuſtande der geſchloſſenen Kette befindlich zu denken iſt;

2) daß jeder Strom, wie er auch von einem thieriſchen Erreger gewonnen ſey, als durch Nebenſchließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm, betrachtet werden müſſe.

Einfluß der Zuſammenziehung auf den Muskelſtrom. Wie 291
wir bereits oben geſehen, hat Matteucci gefunden, daß bei tetaniſirten Fröſchen der Strom fehle, ſpäter ſprach er ſich dahin aus, daß der tetaniſche Zuſtand den Strom der Muskeln nur ſchwäche. Er hatte alſo richtig den Einfluß der Zuſammenziehung des Muskels auf den Strom beobachtet, war aber ſo wenig im Stande, dieſe Entdeckung zu benutzen und zu verfolgen, daß er alsbald ausgedehnte Verſuchsreihen mit ganzen Froſchſäulen anſtellte, welche zeigten, daß der Froſchſtrom während der Zuſammenziehung an Größe zunehme. In ſeinen »Leçons sur les phénomènes physiques des corps vivants«, welche 1847 erſchienen, ſagt er endlich auf Seite 277, daß, wenn während

der Contractionen keine Unterbrechung oder irgend eine andere Veränderung in der Kette vorgeht, die Galvanometernadel gar keine Variation erfährt. Die kleinen poſitiven oder negativen Schwankungen der Nadel, welche man manchmal beobachte, ſeyen zufälligen Störungen zuzuſchreiben.

Nicht beſſer weiß Matteucci die von ihm gemachte Entdeckung der ſecundären Zuckung zu benutzen. Er überreichte die erſte Nachricht von dieſer Entdeckung in einem verſiegelten Päckchen im Februar 1842 der Pariſer Akademie. Der Verſuch, den er hier beſchreibt, iſt folgender: Wenn man den Nerv eines ſtromprüfenden Froſchſchenkels auf die Schenkel eines gewöhnlichen Froſchpräparats legt, ſo zuckt der ſtromprüfende Schenkel, wenn man auf irgend eine Weiſe das Präparat, auf welchem ſein Nerv liegt, in Zuckungen verſetzt.

Becquerel ſchloß, daß im Augenblicke der Contraction des zur Unterlage dienenden Präparates eine elektriſche Entladung in den Muskeln vor ſich gehen müſſe, und daß ein Theil derſelben ſeinen Weg durch den aufgelegten Nerven nehme, worauf denn ſein Schenkel ebenfalls zucken muß.

Anfangs neigte ſich Matteucci ebenfalls dieſer, wie wir ſehen werden, nahe an die Wahrheit ſtreifendenden Anſicht zu, und er ſtellte zu ihrer Begründung die Verſuche an, welche eine Vermehrung der Stärke des Froſchſtromes im Augenblicke der Zuſammenziehung nachweiſen ſollten, alsbald aber verließ er dieſen Weg, um ſich in einem Labyrinth von Verkehrtheiten zu verlieren.

Im Jahre 1845 puplicirte er in den »philosophical transactions« eine, dieſe Erſcheinung beſprechende Abhandlung, unter dem Titel »On Induced Contractions«. Hier ſucht er den Beweis zu liefern, daß die ſecundäre Zuckung gar nicht elektriſchen Urſprungs ſey. Er betrachtet die beſprochene Erſcheinung als ein Inductionsphänomen der unbekannten Kraft, welche in den Nerven circulirt und die Muskelcontraction hervorruft!!

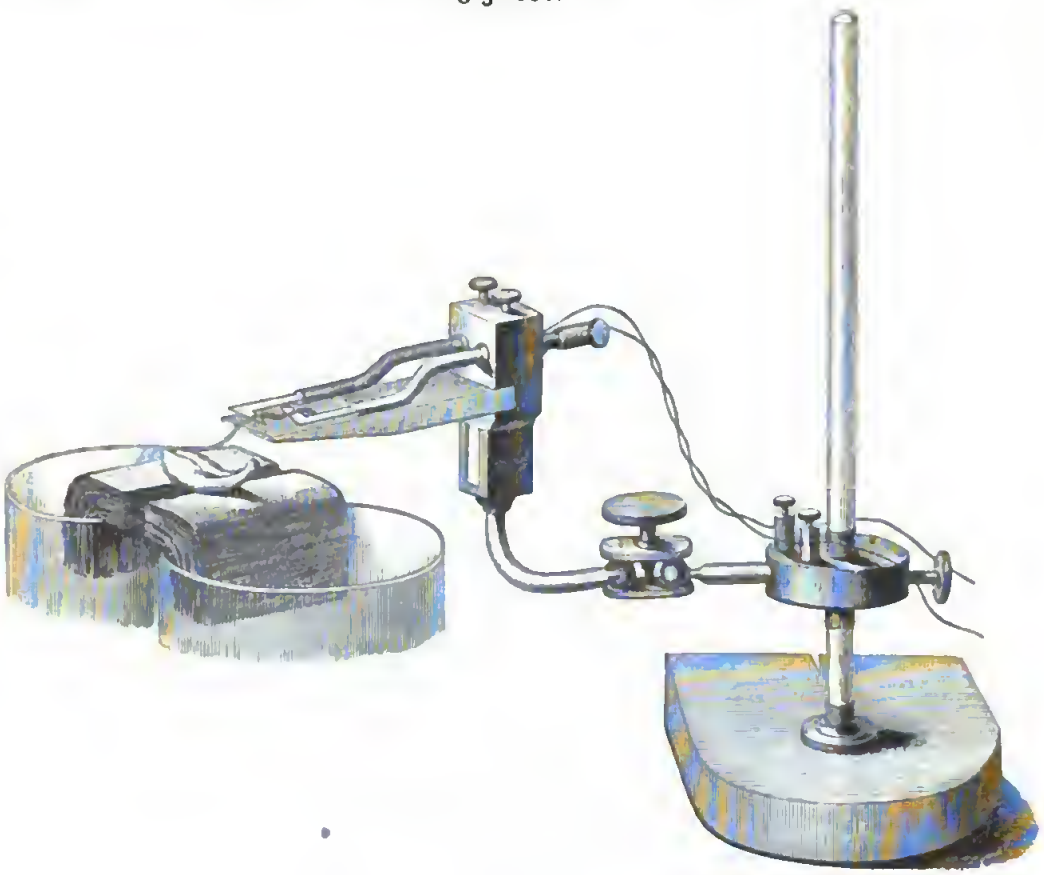
So verdanken wir denn Alles, was auf dieſem Felde wirklich für die Wiſſenſchaft gewonnen wurde, den Arbeiten Du Bois's. Wir wollen jetzt ſehen, was er aus dem von Matteucci ſo ſchlecht benutzten Material zu machen wußte.

Schon in ſeinem »vorläufigen Abriß« theilt Du Bois mit, er habe ſich durch Verſuche überzeugt, daß in der That während heftiger und andauernder Zuſammenziehung der Strom zwar bei weitem nicht verſchwindet, allein doch merklich an Intenſität abnimmt.

Fig 307 ſtellt die Vorrichtung dar, deren ſich Du Bois bediente, um den Grundverſuch dieſes Gebietes anzuſtellen. Der Gaſtroknemius wird

auf die Bäusche gelegt und sein Nerv über zwei Platinschäufelchen ausgebreitet, welche in Messingstäbchen eingelassen sind. Diese Messingstäb-

Fig. 307.



chen gehen durch einen Klotz von Elfenbein hindurch; sie können vor- und rückwärts geschoben, und in jeder beliebigen Stellung festgestellt werden. Am hintern Ende tragen diese Stäbchen Hülsen, in welche Drähte eingeschraubt werden können, welche die Ströme eines Inductionsapparates zuführen können. Unter den Platinschäufelchen befindet sich eine vorn dünner geschliffene Glastafel, welche in den Elfenbeinklotz eingelassen ist. Sie hat zum Zweck, die Berührung der Platinschaufeln mit den Bäuschen zu verhindern, wenn man die Vorrichtung weiter herunter rücken muß.

Sobald der Muskel auf die Bäusche gelegt wird, fliegt die Nadel gegen die Hemmung und stellt sich endlich bei 10 bis 20 Grad ruhig ein. Nachdem das Nervenende so über die Schaufeln gelegt worden ist, daß es eine Brücke zwischen denselben bildet, wird nun der Muskel dadurch tetanisirt, d. h. in Tetanus versetzt, daß man das Unterbrechungsrad dreht, welches

in den Hauptſtrom eines Inductionsapparates eingeſchaltet iſt, während die Drahtenden des Apparates Fig. 307 zu den Drahtenden des Nebendrahtes gehen. Die in dieſem Nebendraht inducirten Ströme durchlaufen nun das Stück des Nerven, welches die Brücke zwiſchen den Platinſchaufeln bildet, und dadurch eben wird der Tetanus des Muskels hervorgebracht.

Der Elektromotor, welcher durch den Hauptdraht des Inductionsapparates geſchloſſen wurde, war ein Grove'ſcher Becher, deſſen Zinkzelle nur Waſſer enthielt.

So lange der Muskel nicht tetaniſirt war, zeigte alſo der Multiplicator eine bleibende Ablenkung von 10 bis 20 Grad.

Im Augenblicke aber, wo man das Rad zu drehen beginnt und der Muskel ſich im Tetanus zuſammenballt, ſchlägt die Nadel durch den Nullpunkt durch und es erfolgt ein Ausſchlag derſelben in den negativen Quadranten, der ſich über 50° erſtrecken kann. Sie ſchwingt dann, während man zu drehen fortfährt, um eine in dem negativen Quadranten befindliche Gleichgewichtsſtellung hin und her, aber bei der Langſamkeit ihrer Bewegungen hat ſie niemals Zeit zur Ruhe zu kommen, ehe der Tetanus des Muskels erlahmt iſt.

Du Bois widerlegt nun den Verdacht, als ob dieſe Wirkung von dem Hereinbrechen des Inductionsſtromes in den Schließungskreis des Multiplicators herrühren könne. Schon aus theoretiſchen Gründen geht hervor, daß das nicht der Fall iſt, aber auch experimentelle Beweiſe bringt Du Bois bei, unter welchen der folgende am ſchlagendſten iſt: Man entferne den Nerven und bringe an ſeine Stelle einen feuchten Zwirnsfaden, einen Streifen feuchtes Löſchpapier oder einen Streifen Froſchhaut, welcher auf dem einen Ende des Muskels aufliegend eine Brücke zwiſchen den Platinſchaufeln bildet. Die leitende Verbindung zwiſchen dem Multiplicatorkreis und dem Kreis des Inductionsſtroms iſt nun ganz ſo hergeſtellt, wie vorher; wird aber nun das Unterbrechungsrad gedreht, ſo entſteht kein Tetanus im Muskel, und es zeigt ſich keine Einwirkung auf den Stand der Multiplicatornadel.

Wird der Tetanus des Muskels dadurch hervorgebracht, daß man die Reizung des Nerven auf mechaniſchem Wege, durch Wärme, durch chemiſche Einwirkung u. ſ. w. hervorbringt, ſo erhält man ähnliche Wirkungen wie beim elektriſchen Tetaniſiren, nur in ſchwächerem Maaße.

Ferner hat Du Bois gezeigt, daß der Muskelſtrom eines noch lebenden, mit Strychnin vergifteten Froſches in dem Augenblicke eine merkliche Abnahme erfährt, in welchem das Thier in Folge der Vergiftung in Tetanus geräth.

Suchen wir nun zu ermitteln, was die Bedeutung des Rückſchlags der Nadel in den negativen Quadranten iſt, welche erfolgt, wenn das Teta-

niſiren des Muskels beginnt. Beim erſten Anblick könnte man meinen, es entſtehe während des Tetanus im Muskel ein Strom, welcher demjenigen entgegengeſetzt iſt, den derſelbe im ruhenden Zuſtande zeigt. Dem iſt aber nicht ſo. Bevor das Tetaniſiren beginnt, entwickelt ſich in Folge der Galvaniſchen Polariſation der Platinplatten eine Ladung derſelben, welche einen, dem primären entgegengeſetzten Strom zu erzeugen ſtrebt. Sobald nun der Muskelſtrom in Folge des Tetaniſirens ſo weit abnimmt, daß der Ladungsſtrom überwiegend wird, ſo muß die Nadel natürlich in den entgegengeſetzten Quadranten überſchlagen.

Will man den Strom des tetaniſirten Muskels rein haben, ſo muß man an irgend einer Stelle des Multiplicatorkreiſes ein Queckſilbernäpfchen anbringen. Unterbricht man hier die Kette durch Herausnehmen eines Zuleitungsdrahtes aus dem Queckſilber, ſo kann man den Muskel auf die Bäuſche auflegen, ohne daß ein Strom durch den Multiplicator circulirt, und ohne daß ſich eine Ladung an den Platinplatten entwickeln kann. Wird nun der Muskel tetaniſirt und dann erſt die Kette beim Queckſilbernäpfchen geſchloſſen, ſo erhält man den Strom des tetaniſirten Muskels ganz rein, und zwar erfolgt nun der Ausſchlag wirklich in dem gewöhnlichen Sinne des Muskelſtromes, nur iſt er ungleich ſchwächer als beim nicht tetaniſirten Muskel.

Dieſe Abnahme des Muskelſtromes rührt nur von einer Abnahme her, welche die elektromotoriſche Kraft der Muskeln während der Zuſammenziehung erleidet. Um die Richtigkeit der Behauptung darzuthun, kommt es darauf an, die Einwürfe zu beſeitigen, die man etwa gegen dieſe Behauptung machen könnte. Unter den Widerlegungen Du Bois's gegen verſchiedene derartige Einwendungen heben wir hervor, daß die Abnahme des Muskelſtromes nicht etwa von einer Vermehrung des Leitungswiderſtandes des Muskels oder von der Veränderung ſeiner Lage auf den Bäuſchen herrühre.

Das Erſtere hat Du Bois durch die Methode der Compenſation nachgewieſen. Zwiſchen die gewöhnlichen Bäuſche wurde noch ein Zwiſchenbauſch eingeſchaltet; jeder der beiden Zwiſchenräume wurde mit einem Gaſtroknemius überbrückt und zwar ſo, daß der Strom des einen dem des andern entgegengeſetzt war; ſie wurden ſo aufgelegt, daß ſich ihre Ströme möglichſt vollſtändig compenſirten. Wurde nun der eine oder der andere Muskel in der bekannten Weiſe tetaniſirt, ſo erhielt ſtets der Strom des ruhenden Muskels das Uebergewicht, ein Reſultat, welches ſich nur durch Abnahme der elektromotoriſchen Kraft des tetaniſirten Muskels, aber nicht durch die Vermehrung ſeines Leitungswiderſtandes erklären läßt.

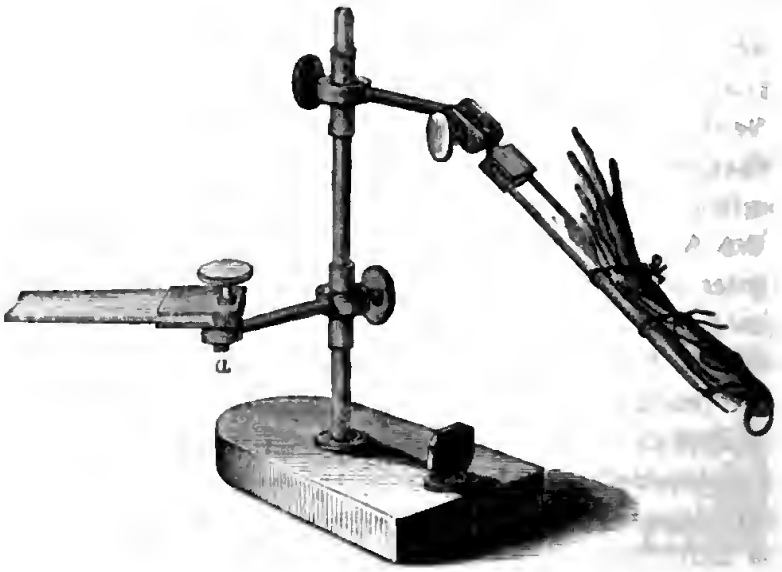
Um zu zeigen, daß nicht etwa eine Veränderung in der Lage des Muskels die Urſache dieſer Stromſchwächung ſey, ſpannte Du Bois den

Muskel in ein entſprechendes Holzgeſtell ein, und zwar machte er die Spannung ſo ſtark, daß beim Tetaniſiren des Muskels keine merkliche Formveränderung an demſelben mehr vor ſich ging; in dieſer Weiſe wurde der Muskel auf die Bäuſche aufgedrückt. Auch jetzt zeigte ſich die Abnahme des Muskelſtromes während des Tetanus.

292 **Die ſecundäre Zuckung.** Bei den Verſuchen, welche wir im vorigen Paragraphen betrachtet haben, war der Multiplicator das ſtromprüfende Mittel; wir wollen nun ſehen, wie ſich der ſtromprüfende Froſchſchenkel gegen die durch den Tetanus bewirkte Veränderung des Muskelſtroms verhält. Wir können den Verſuch in zweierlei Weiſe anſtellen: entweder bleibt der Multiplicator noch im Schließungsbogen, ſo daß der Muskelſtrom den Nerven des ſtromprüfenden Schenkels und den Multiplicator zu durchlaufen hat, daß man alſo die Angaben beider Rheoſkope gleichzeitig erhält; oder man kann den Nerv des ſtromprüfenden Schenkels allein zur Schließung der Kette anwenden.

Im erſten Falle muß man einen Zwiſchenbauſch anwenden. Die eine Lücke wird mit dem zu tetaniſirenden Gaſtroknemius, die andere mit dem Nerven des ſtromprüfenden Schenkels überbrückt, der, wie Fig. 308 zeigt,

Fig. 308.



auf einer Glasplatte feſtgebunden, oder beſſer mit Kautſchukringen befeſtigt, iſolirt aufgeſtellt iſt.

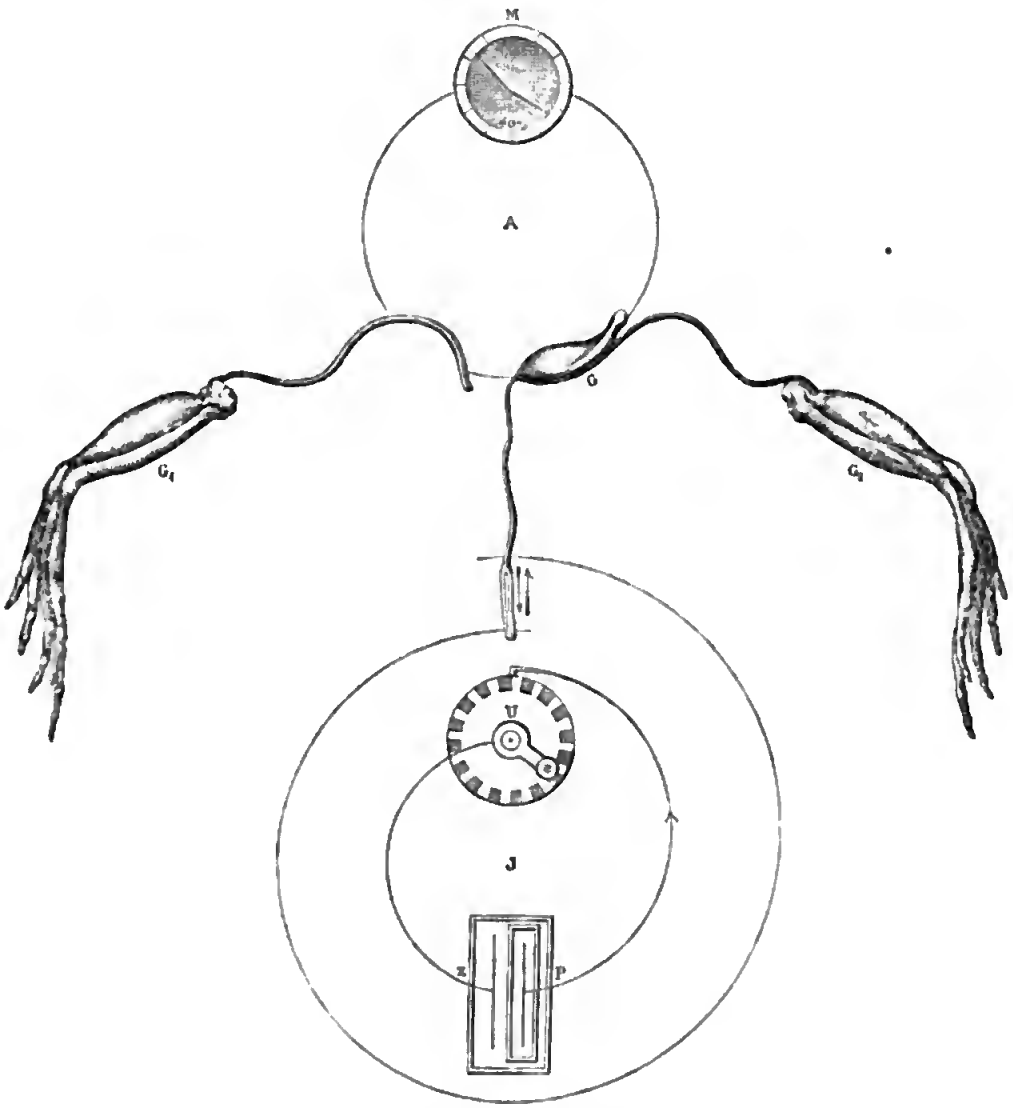
Soll der Strom nur durch den Nerv des ſtromprüfenden Schenkels geleitet werden, ſo hat man den Zwiſchenbauſch nicht nöthig. Man überbrückt den Zwiſchenraum zwiſchen den Bäuſchen auf der einen Seite mit

dem Muskel, auf der anderen mit dem Nerv des stromprüfenden Schenkels.

Man übersieht leicht, daß diese Form des Versuchs nichts anderes ist, als eine zweckmäßige Form der Anordnung, welche Matteucci zur Hervorbringung der secundären Zuckung anwandte.

Fig. 309 stellt schematisch die verschiedenen Anordnungen dar, durch welche man die secundäre Zuckung erzeugen kann. Während in den Schließungs-

Fig. 309.



bogen des Zinkplatinelements das Unterbrechungsrad U eingeschaltet ist, wird der Nebendraht durch ein Stück des Nerven geschlossen, welcher dem Gastroknemius G angehört. Der Gastroknemius G sendet nun seinen Strom durch den Multiplicator M und ein Stück des Nerven, welcher dem stromprüfenden Schenkel G_1 angehört. Man kann aber auch den

Multiplicator ganz aus dem Schließungsbogen weglaſſen, ſo daß der ſtromprüfende Schenkel G_1 das einzige Rheoſcop für den Strom des Gaſtroknemius iſt. Legt man den Nerven des ſtromprüfenden Schenkels an den Gaſtroknemius an, wie dieß in unſerer Fig. 309 mit dem Nerven des Schenkels G_2 der Fall iſt, ſo bildet das Nervenſtück allein den Schließungsbogen für den Gaſtroknemius G und das iſt die Form, wie Matteucci zuerſt den Verſuch anſtellte.

Iſt Alles auf die angegebene Weiſe hergerichtet, ſo beobachtet man einen überraſchenden Erfolg, ſobald man den Gaſtrocnemius tetaniſirt; der ſtromprüfende Schenkel macht nämlich während der ganzen Dauer des Tetaniſirens unabläſſig heftige Zuckungen, er iſt in einem förmlichen Tetanus begriffen, indeß, wenn gleichzeitig der Multiplicator eingeſchaltet iſt, ſeine Nadel noch dieſelben Erſcheinungen zeigt, wie ſie im vorigen Paragraphen beſchrieben wurden, nur ſchwächer, weil durch die Einſchaltung des Nerven der Geſammtwiderſtand der Kette bedeutend vermehrt worden iſt.

Dieſer Verſuch giebt uns ein ganz anderes Bild vom elektromotoriſchen Verhalten des tetaniſirten Muskels, als die Erſcheinung am Multiplicator. Die Langſamkeit der Nadelbewegungen hatte uns nichts Anderes wahrzunehmen geſtattet, als im Allgemeinen eine Abnahme des im Multiplicatordrahte kreiſenden Muskelſtromarmes; die Zuckungen des ſtromprüfenden Schenkels zeigen uns aber, daß die ſcheinbar ſo ſtetige Zuſammenziehung des Muskels aus einer Reihe raſch aufeinander folgender Contractionen beſteht.

Durch dieſe Verſuche iſt gewiß der elektriſche Urſprung der ſecundären Zuckung außer Zweifel geſetzt.

Soll die ſecundäre Zuckung in der Form gelingen, wie ſie Matteucci zuerſt beſchrieben hat, ſo muß natürlich der Nerv des ſtromprüfenden Schenkels die Kette zwiſchen zwei, in dem oben entwickelten Sinne elektriſch ungleichartigen Stellen des Muskels ſchließen, was meiſt ohne beſondere Bemühung durch Zufall getroffen wird.

Was nun die Erklärung von Matteucci's ſecundärer Zuckung betrifft, ſo iſt ſie eigentlich in dem eben Geſagten ſchon enthalten; die durch das Tetaniſiren des Muskels erzeugten Schwankungen des Muskelſtromes, welcher den Nerven des ſtromprüfenden Schenkels durchläuft, ſind es, welche die Zuckungen des letzteren bedingen.

Du Bois geht nun zu einer ausführlichen Kritik der Theorie über, welche Matteucci zur Erklärung der ſecundären Zuckung aufgeſtellt hat; dieſer Theorie zu Folge wäre, wie bereits bemerkt wurde, die ſecundäre Zuckung eine Art Inductionserſcheinung einer noch unbekannten Kraft, welche ſelbſt durch nichtleitende Subſtanzen hindurch wirken ſoll.

Am Ende dieser Kritik erklärt aber Du Bois, daß er gewissermaßen gegen Leichen gekämpft habe. Matteucci hat unterdessen seine Ansicht über die Natur der secundären Zuckung abermals geändert; dem compte rendu vom 15. März 1847 zu Folge, welches Du Bois während des Druckes jener Kritik zukam, scheint sich Matteucci jetzt vorzustellen, daß der Muskel im Augenblicke der Zusammenziehung, gleich dem elektromotorischen Organe eines Zitterfisches, dem stromprüfenden Nerven einen Schlag ertheile. Ferner scheint er noch der Meinung zu seyn, obschon sie hier nicht mehr deutlich ausgesprochen ist, daß man die secundäre Zuckung durch Schichten nicht leitender Flüssigkeiten hindurch zu verfolgen vermöge. Wahrscheinlich indeß, fügt Du Bois hinzu, wird er nächstens, seiner Gewohnheit gemäß, auch diese Behauptung in der Stille zu Boden gleiten lassen, wozu hier schon der Anfang gemacht ist.

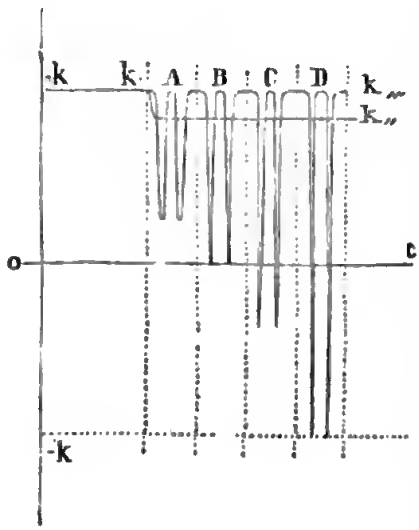
Wenn sich Du Bois nicht weiter auf eine Widerlegung dieser neuen Irrlehren einläßt, so müssen wir ihm darin vollkommen beistimmen.

Der secundär zuckende Schenkel kann durch seine Zuckung einen dritten Schenckel zucken machen, wie die Zuckung des ersten die des zweiten hervorruft.

Matteucci und Du Bois haben Versuche über diese Zuckungen höherer Ordnung angestellt, und zwar ist Matteucci bis zur vierten, Du Bois bis zur fünften Ordnung gelangt.

Es bleibt nun noch die Frage zu beantworten, ob jeder einzelnen blitzschnellen Muskelcontraction bloß eine Abnahme des Stromes entspricht, oder ob im Moment der Contraction eine wirkliche Umkehr des Stromes stattfindet. Die Kurve in Fig. 310 versinnlicht, wie man sich etwa die Stromesschwankungen des Muskels beim Tetanisiren vorzustellen habe; die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten der Strombichtigkeit proportional; *ot* ist die Abscissenaxe. Die horizontale Linie von *k* bis *k*, stellt die gleichbleibende Stromstärke des ruhenden Muskels dar; von dem Moment an, wo der Muskel tetanisirt wird, findet stoßweise bedeutende Abnahme des Stromes Statt, welche auf die Nadel des Multiplicators dieselbe Wirkung hervorbringt, als ob die Stromstärke stetig kleiner geworden wäre, wie es die Linie *k*, *k*,, darstellt. Es ist aber nun die Frage, ob bei diesen Schwankungen der

Fig. 310.



Strom nur abnimmt, wie in der Abtheilung *A* dargestellt ist, oder ob der Strom bei jeder Contraction bis auf Null herabsinkt, wie bei *B*, oder endlich sogar in die entgegengesetzte Richtung überschlägt, wie dies bei *C* und *D* dargestellt ist. Du Bois hat sich bis jetzt vergebens bemüht, diese Frage zur Entscheidung zu bringen, er erhielt nur negative Resultate, welche keinen sichern Schluß zulassen.

Du Bois formulirt die Resultate dieser Untersuchungen in folgender Weise:

»Die Kurve der elektromotorischen Kraft des Muskels, bezogen auf die »Zeit, erleidet im Augenblicke der Zusammenziehung eine äußerst schnelle »Schwankung im negativen Sinne, von welcher ungewiß ist, bis zu wel»cher Tiefe sie sich erstreckt, obschon es, nach den vorliegenden Thatsachen »zu schließen, allerdings nicht wahrscheinlich ist, daß sie unter der Abscissen»Axe hinabreicht.«

293 **Einfluß der Ausdehnung und der Zusammendrückung des Muskels auf die Stärke seines Stromes.** Du Bois stellte eine besondere Versuchsreihe an, um zu ermitteln, welchen Einfluß die Streckung und Compression des Muskels auf den Strom desselben habe. Er ließ aber diese Untersuchung später im Drange anderer Fragen liegen, da sie sich weniger ergiebig zeigte als ihr Anfang versprach. Wir begnügen uns, hier nur die Hauptresultate derselben kurz zu bezeichnen: Durch die Streckung des Muskels, welche mittelst einer eigenthümlichen Streckvorrichtung hervorgebracht wurde, wird eine Schwächung des Muskelstroms bewirkt; beim Nachlassen der Streckung nimmt der Muskelstrom wieder zu. Dasselbe, nämlich Abnahme des Muskelstromes, wurde auch bei der Compression des Muskels sowohl in der Richtung der Fasern, als auch parallel mit denselben beobachtet, obwohl hier manchmal auch eine Vermehrung der Stromgröße stattfand, namentlich wenn die Compression parallel mit den Fasern bewerkstelligt wurde.

294 **Abnahme und Dauer des Muskelstromes nach dem Tode.** Der Muskelstrom ist nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Muskels vom Gesammtorganismus in fortwährender Abnahme begriffen. Der Ermittelung des Gesetzes dieser Abnahme setzen sich große Schwierigkeiten entgegen. Nach Matteucci's Angaben zeigen Froschpräparate fünf bis sechs Stunden nach dem Tode, ja einen Tag lang in Wasser aufbewahrt, immer noch, wenn auch schwache Ströme. Am raschesten ist die Abnahme in den ersten 8 bis 10 Minuten, so daß der Multiplicatorausschlag nach dieser Zeit nur noch halb so groß erscheint als im Anfang.

Matteucci fand ferner, daß die Dauer des Muskelstromes um so kürzer sey, je höher die Thiere auf der Rangleiter organischer Wesen ständen. So nimmt z. B. die elektromotorische Kraft eines Kaninchenmuskels rascher, die eines Froschmuskels bedeutend langsamer ab, als die eines Taubenmuskels. Diesem Satze fügt Matteucci noch den hinzu, daß die ursprüngliche Kraft des Stromes im lebenden Thiere das umgekehrte Gesetz befolge, d. h., daß sie bei warmblütigen Thieren größer sey als bei kaltblütigen.

Du Bois sagt nun, er sey keineswegs abgeneigt, an das Daseyn eines solchen Unterschiedes zwischen der ursprünglichen Stromkraft warm- und kaltblütiger Muskeln zu glauben, der experimentellen Begründung dieser Ansicht stellten sich aber sehr bedeutende Schwierigkeiten entgegen, welche Matteucci weit entfernt sey, überwunden zu haben.

Die Abnahme des Muskelstromes nach dem Tode betreffend, hat Du Bois gefunden, daß die elektromotorische Kraft des Muskels gleichen Schritt gehe mit seiner Erregbarkeit, daß also der Muskelstrom in demselben Maaße abnehme, wie die Reizbarkeit des Muskels, ferner daß die Todtenstarre die Gränze sey, welche dem Muskelstrome gesetzt ist. Die Erscheinung des Muskelstromes ist dadurch unmittelbar als eine nur an dem lebendigen Gewebe mögliche bezeichnet. Der wegen Todtenstarre verschwundene Strom kehrt unter keinerlei Umständen zurück. Faulende Glieder, nach Lösung der Todtenstarre, wirken nicht merklich elektromotorisch.

Du Bois bespricht nun den Einfluß krankhafter Zustände und verschiedener Todesarten des Thieres, den Einfluß verschiedener Vergiftungen u. s. w. auf den Muskelstrom; wir können dies, ohnehin nicht sehr fruchtbare Feld um so eher übergehen, als es überhaupt für die Physik von untergeordnetem Interesse ist.

Von dem Strome der verschiedenen Gewebe. Wir haben im 295
vorigen Paragraphen gesehen, daß nach dem Tode die elektromotorische Kraft der Muskeln in gleichem Maaße abnimmt, wie die Erregbarkeit derselben. Aehnliches ergiebt sich, wenn wir verschiedene Gewebe unter einander vergleichen, der Strom derselben ist um so schwächer, je weniger reizbar sie sind; durch die Reihe der zusammenziehungsfähigen Gewebe hindurch hält das elektromotorische Vermögen gleichen Schritt mit der mechanischen Leistungsfähigkeit.

Am größten ist die elektromotorische Kraft der quergestreiften Muskeln des Stammes; nach ihnen kommt der Herzmuskel, welcher ein Zwischenglied bildet zwischen den quergestreiften Muskeln und den glatten Geweben, welche nur schwache Ströme geben.

Die elektromotorische Wirksamkeit der Herzmuskelsubstanz hat zuerst Matteucci nachgewiesen. Er experimentirte mit einer Säule von querdurchschnittenen Taubenherzen. Du Bois machte den Versuch an einzelnen Herzen von Fröschen, dem Erdmolch (Salamandra maculata), dem Meerschweinchen und der Hausmaus; der künstliche Querschnitt ist negativ gegen die Außenfläche. Auch unverletzte Herzen gaben lebhafte Ausschläge und zwar stellt die Spitze des Herzens hier den natürlichen Querschnitt vor.

Weit weniger stark ist der Strom vom Muskelmagen der Vögel. Ein Taubenmagen mit natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt gab im richtigen Sinne einen ersten Ausschlag von 25° am Du Bois'schen Multiplicator.

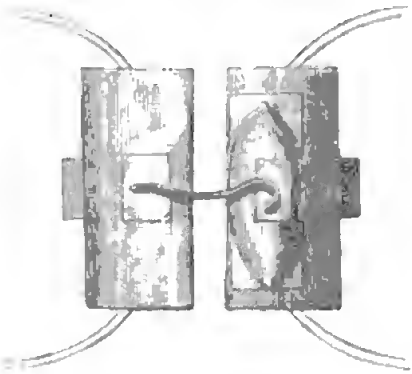
Die Wandung des Magens oder des Darmes vom Frosche giebt, mit einem Punkte ihrer äußeren Fläche gegen einen beliebig zur Axe des Darmes laufenden Schnittrand aufgelegt, schwache Wirkungen innerhalb der ersten 15° im Sinne des Gesetzes des Muskelstromes.

Eine Sehne vom Kaninchen mit natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt gab nur 5, höchstens 8 Grad Ausschlag, der zwar meist wie beim Muskel gerichtet ist, allein sehr leicht unregelmäßig wird.

Stücke von Lunge, Leber, Niere gaben ebenfalls nur sehr schwache Ströme, die sich dem gemeinsamen Gesetze des Nerven- und Muskelstromes nur mangelhaft unterordnen.

Die Berührung verschiedener Gewebe zeigt sich elektromotorisch unwirksam. Will man den Versuch anstellen, so ist klar, daß die beiden Gewebe so gelagert seyn müssen, daß jedes einzelne an und für sich durch die ihm eigenthümlichen elektromotorischen Kräfte nicht auf die Nadel einzuwirken vermöge. Hat man es z. B. mit Nerv und Muskel zu thun,

Fig. 311.



so wird man ihnen die in Fig. 311 dargestellte Lage anweisen müssen. Du Bois hat die elektromotorische Unwirksamkeit der Berührung verschiedener Gewebe nachgewiesen an allen möglichen Combinationen vom Muskel, Nerv, Sehne, Haut und Knochen. Dadurch ist nun natürlich auch Volta's Erklärung der Zuckung ohne Metall (Seite 774) auf das vollständigste widerlegt.

296 **Der Nervenstrom.** Da die Vorstellung von der Identität des Nervenagens mit der Elektricität schon eine alte und viel verbreitete ist, so ist

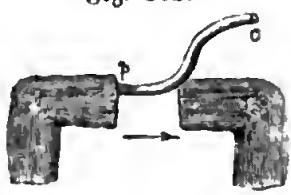
begreiflich, daß mannichfache Bestredungen gemacht wurden, elektrische Wirkungen von den Nerven zu erhalten. Du Bois hat die hierher gehörigen historischen Notizen zusammengestellt; wir übergehen sie hier. — Nachdem Matteucci in Beziehung des elektrischen Verhaltens der Nerven an verschiedenen Orten viel Verworrenes und Widersprechendes publicirt hatte, sagt er im Jahre 1844 (Annales de Chimie et de Physique 3 série t. XII. p. 579): Nous croyons être autorisés à conclure qu'il n'existe aucune trace de courants électriques dans les nerfs des animaux vivants, appréciable à l'aide des instruments que l'on possède aujourd'hui.

So bleibt denn Du Bois allein die Ehre, den Nervenstrom entdeckt zu haben. Bereits in seinem »vorläufigen Abriß« hat er die elekromotorische Wirkung des Nervus ischiadicus vom Frosch und vom Kaninchen besprochen.

Folgendes ist das Verfahren, welches Du Bois anwandte, um den Nervenstrom zu beobachten und seine Gesetze zu ermitteln.

Ein aus dem Nervus ischiadicus eines frisch getödteten Frosches so eben ausgeschnittenes Stück wird so auf die Bäusche gelegt, daß es einerseits mit dem natürlichen Längsschnitt, andererseits mit dem künstlichen Querschnitt berührt wird, wie dies Fig. 312 angedeutet ist. Auf diese Weise erfolgt ein Ausschlag, der unter Umständen 25 bis 30° betragen kann, sich aber gemeiniglich auf 15 bis 18° beläuft und welcher ohne Ausnahme vom Punkt des natürlichen Längsschnittes durch den Multiplicatordraht zum künstlichen Querschnitt, also wie beim Muskel, gerichtet ist und eine beständige Ablenkung von 5 bis 8° zurückläßt.

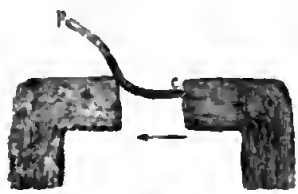
Fig. 312.



Die Bäusche sind bei diesem Versuch natürlich mit Eiweißhäutchen versehen; auf demjenigen, der mit dem Längsschnitt berührt werden soll, befindet sich, außerdem noch ein Stückchen Glimmer oder Wachstaffent, auf welches man das Nervenende auflegt, dessen Querschnitt nicht ins Spiel kommen soll.

Es ist in Betreff der Stromrichtung völlig gleichgültig, welchen der beiden künstlichen Querschnitte man auflege, ob den dem Ursprunge (in den Figuren mit *c* dezeichnet), oder den der Ausbreitung (*p*) der Nerven näher gelegenen, wie in Fig. 313 angedeutet ist. Man kann auch den Nerven in der Mitte seiner Länge zusammenfalten und die beiden Querschnitte gleichzeitig auf den einen, die Schlinge auf den anderen Bausch auflegen, wie Fig. 314 f. S.; man erhält einen starken Strom im richtigen Sinne.

Fig. 313.



Wird der Bauſch beiderſeits mit künſtlichem Querſchnitt berührt, wie Fig. 315, ſo bleibt die Nadel ungeſtört, wenn der Verſuch gut gelingt.

Fig. 314

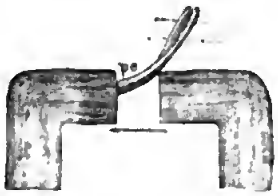
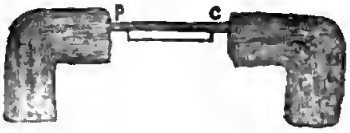


Fig. 315.

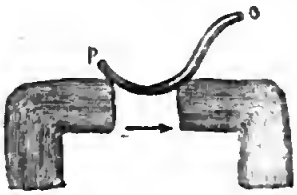


Meiſtens aber erhält man ſchwache Ablenkungen, jedoch höchſtens bis zu 8°, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite, was ſich leicht aus der Schwierigkeit erklärt, die Bäuſche nur mit Querſchnitt zu berühren.

Wegen der Kleinheit des Nervenquerſchnittes kann natürlich nicht die Rede davon ſeyn, das elektromotoriſche Verhalten verſchiedener Punkte des Querſchnittes gegen einander zu unterſuchen, die Erforſchung der einzelnen Punkte des Längsſchnittes bietet dagegen keine Schwierigkeit dar. Sie geſchieht auf die nämliche Weiſe, wie beim Muskel, und giebt auch gleiche Reſultate. Man erhält Wirkungen, welche im Verhältniß zu den beim Auflegen vom Längs- und Querſchnitt beobachteten ſehr gering ausfallen. Die Ausſchläge betragen 6 bis 7°, die beſtändige Ablenkung 2 bis 4°. Sie ſind im Allgemeinen ſo gerichtet, daß die Punkte, welche näher bei der Mitte der Länge des Nervenſtücks liegen, poſitiv ſind gegen die näher gegen die Enden hin liegenden. Fig. 316.

Werden zwei Punkte des Nerven aufgelegt, welche gleich weit von der Mitte entfernt ſind, ſo beobachtet man keine elektromotoriſche Wirkung

Fig. 316.



Das iſt die Erſcheinungsweiſe des Nervenſtromes an den gemiſchten Nervenſtämmen der Extremitäten, als deren Repräſentant der Iſchiadicus gewählt wurde, weil er wegen ſeiner Länge zum Verſuch der bequemſte iſt. Es bleibt jetzt noch übrig, das Verhalten des Nervenſtromes an anderen Theilen des Nervenſyſtems, an den Centralgebilden ſowohl, als auch an den reinen Empfindungs- und Bewegungsnerven zu unterſuchen.

Was die reinen Bewegungs- und Empfindungsnerven betrifft, ſo bieten die vorderen und hinteren Wurzeln der Nervenſtämme für die hinteren Extremitäten des Froſches, welche man leicht in 7 bis 8 Millimeter Länge erhält, eine willkommene Gelegenheit zur Erledigung dieſes Punktes. Eine ſolche Wurzel giebt mit Leichtigkeit 20 bis 25° Ausſchlag und 10° beſtändiger Ablenkung. Das elektromotoriſche Verhalten der

vorderen und hinteren Wurzeln bietet keinen Unterschied dar; wie bei den gemischten Nervenstämmen, so ist auch bei den reinen Bewegungs- und bei den reinen Empfindungsnerven der Querschnitt negativ gegen die Seitenfläche.

Mit dem Nervus opticus des Frosches zu experimentiren, ist wegen seiner Kürze sehr schwierig; Du Bois wählte, statt dessen den Nervus opticus von Fischen, namentlich den vom großen Schley. Dieser giebt 40 bis 45° Ausschlag. Auch hier gilt das gleiche Gesetz in Beziehung auf die Stromesrichtung.

Jede Schnittfläche des Gehirns verhält sich negativ gegen Punkte der Außenfläche. Ebenso ist jeder Querschnitt des Rückenmarks negativ gegen seine Außenfläche.

Du Bois hat sich durch Versuche von der gleichen Gesetzmäßigkeit des Nervenstromes beim Menschen, dem Kaninchen, dem Meerschweinchen, der Hausmaus, der Taube, der Schildkröte, der Eidechse, dem Wasser-, Gras- und Laubfrosch, dem Erdmolch, dem Schley und dem Flußkrebse überzeugt.

Erörterung des Gesetzes des Nervenstromes. Wir haben nun297 gesehen, daß der Nervenstrom denselben Gesetzen folgt, wie der Muskelstrom; wir sind also berechtigt, alle Schlüsse, die rein physikalisch für den Muskel aus der Erscheinungsweise seines Stromes folgten, unmittelbar auf den Nerven zu übertragen und elektromotorische Molekeln in den Nerven als Erzeugerinnen des Stromes zu betrachten. Gleich den Muskeln sind demnach die Nerven fortwährend als im Zustande der geschlossenen Kette zu betrachten; wie bei den Muskeln, so ist auch jeder Strom, der von den Nerven gewonnen wird, als durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm anzusehen; endlich gilt für die Nerven wie für die Muskeln die Bemerkung, daß die Stärke des Stromes, wie er im Multiplicator sich kundgiebt, nicht das geringste aussage über die Stärke, die dem Strom in der nächsten Nähe der ihn entwickelnden Molekeln zukommen mag.

Was nun zunächst die elektromotorische Kraft der Nervenmolekeln, verglichen mit derjenigen der Muskelnmolekeln betrifft, so ist es begreiflich leider nicht möglich, sich darüber irgend einen genauen Aufschluß zu verschaffen, jedoch läßt sich mit ziemlicher Sicherheit die Behauptung aufstellen, daß der Nervenstrom unter sonst gleichen Umständen dem Muskelstrome an Stärke nicht nachsteht, ja vielleicht ihn in den ersten Augenblicken übertrifft.

Wir haben eben nur die Wirkungen des Nervenstromes auf den Multiplicator kennen gelernt; allein auch physiologische Wirkungen des Ner-

venſtromes hat Du Bois zu Stande gebracht. Sein Verfahren iſt folgendes:

Nachdem man ſich durch den Multiplicator von der Gleichartigkeit aller Theile überzeugt hat, kann man denſelben aus der Kette entfernen und ein Queckſilbernäpfchen einſchalten, ſo daß das Oeffnen und Schließen des Kreiſes mittelſt eines verquickten Kupferhakens metalliſch vollzogen werden kann. Der ſtromprüfende Froſchſchenkel iſt auf der Glasplatte des allgemeinen Trägers Fig. 308 auf Seite 822 befeſtigt und das Hirnende ſeines Iſchiadnerven wird mit Längs- und Querſchnitt über die mit Eiweißhäutchen verſehenen Bäuſche gebrückt. Beim Schließen und manchmal auch beim Oeffnen der Kette zuckt der Schenkel.

Man hat nicht einmal eine metalliſche Schließung nöthig. Hat man auf der einen Seite der Bäuſche den Zwiſchenraum derſelben in gehöriger Weiſe durch den Nerv des ſtromprüfenden Schenkels überbrückt, ſo zuckt derſelbe, wenn man die Kette durch Auflegen des Schließungsbauſches auf der anderen Seite ſchließt. Natürlich muß das Präparat einen hohen Grad von Empfindlichkeit haben, wenn dieſer Verſuch gelingen ſoll.

298 **Der elektrotoniſche Zuſtand der Nerven.** Wir ſchreiten jetzt zu der Unterſuchung, wie ſich der Nervenſtrom verhalte, während das ſogenannte Nervenprincip in Thätigkeit iſt, alſo während der Nerv nach dem Muskel zu, oder den Centralgebilden hin die materiellen Veränderungen fortpflanzt, die wir als Bewegung, als Empfindung wahrnehmen.

Die Unterſuchung hat hier zunächſt ganz gleiche Form mit derjenigen über das Verhalten des Muskelſtromes während der Zuſammenziehung. Sie zerfällt abermals in Verſuche am Multiplicator und in die am Froſchſchenkel, welche die erſteren ergänzen.

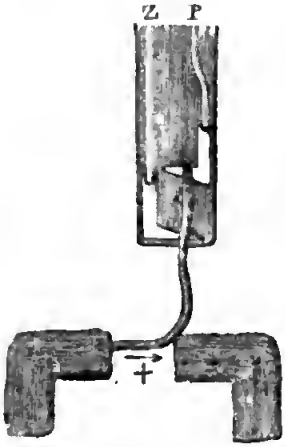
Die nächſte Bemühung muß nun dahin gehen, ein Verfahren ausfindig zu machen, wodurch wir den Nerven in einen Zuſtand verſetzen können, der in Bezug auf ſeine beſonderen Lebensäußerungen daſſelbe vorſtellt, was beim Muskel das Tetaniſiren. Dieſer Zuſtand iſt für den bewegenden Nerven offenbar der, welcher Tetanus in den zugehörigen Muskeln zur Folge hat; für den Empfindungsnerven ein ſolcher, wo eine irgend wie beſchaffene, aber möglichſt lebhafte Empfindung entweder ſtetig oder in einzelnen Anfällen ſtattfindet, die ſich in ununterbrochen dicht gedrängter Reihe wiederholen. Wir wollen der Kürze und Bequemlichkeit wegen fortfahren, eine jede Verſuchsweiſe, wodurch ein ſolcher Zuſtand der Nerven, gleich viel, ob bewegender oder empfindender Art, hervorgerufen wird, mit dem Ausdruck »Tetaniſiren« zu bezeichnen.

Ehe wir jedoch zu dieſer Unterſuchung ſelbſt ſchreiten, haben wir noch

den Einfluß stetiger Ströme auf die Nerven kennen zu lernen, welche die Annahme eines elektrotonischen Zustandes in denselben bedingt.

Ein Nerv sey auf die Bäusche und die bekannten Platinschäufelchen so aufgelegt, wie es Fig. 317 zeigt. Der Strom des zwischen den Bäuschen befindlichen Nervenstückes wird am Multiplicator eine beständige Ablenkung hervorbringen. Bringt man nun die Stäbchen, in welche die Platinschäufelchen eingelöthet sind, mit dem positiven und negativen Pole eines einfachen Grove'schen Bechers in metallische Verbindung, daß also ein constanter Strom durch das hier aufliegende Nervenstück hindurchgeht, so findet je nach der Richtung dieses Stromes eine Zunahme oder eine Abnahme des am Multiplicator beobachteten Nervenstromes Statt.

Fig. 317.



Hat der Strom der Kette in dem Nerven gleiche Richtung mit dem Nervenstrome in dem Stück Nerv, welches in dem Multiplicatorkreise begriffen ist, wie es unsere Figur andeutet, so findet anscheinend Vergrößerung des Nervenstromes Statt; es findet anscheinend Verkleinerung Statt, wenn beide Ströme in den Nerven entgegengesetzte Richtung haben.

Eine beständige Ablenkung von 8^0, welche der ursprüngliche Nervenstrom hervorbrachte, erlitt im einen Falle einen bleibenden Zuwachs von 2 bis 3 Graden, im andern Falle eine eben so große Abnahme, nachdem im Moment der Schließung der erregenden Kette natürlich ein größerer Ausschlag nach der einen oder anderen Seite erfolgt war.

Den mittelst der Platinschäufelchen durch ein Nervenstück hindurchgeleiteten Strom wollen wir den erregenden Strom nennen.

Den Zustand der Veränderung seiner elektromotorischen Kräfte, welche durch den erregenden Strom hervorgebracht wird, nennt Du Bois den elektrotonischen Zustand des Nerven.

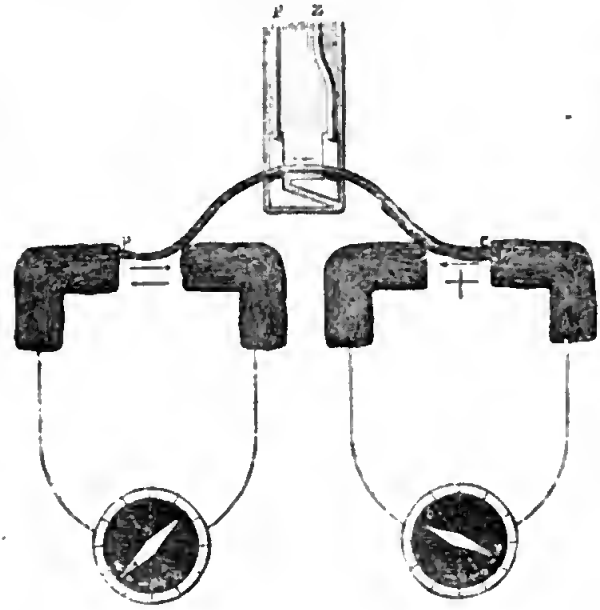
Von der Strecke eines im elektrotonischen Zustande befindlichen Nerven, welche Vermehrung ihres ursprünglichen Stromes zeigt, wollen wir sagen, sie sey in der positiven Phase dieses Zustandes begriffen. Die negative Phase desselben schreiben wir der Strecke zu, welche Verminderung ihres ursprünglichen Stromes zeigt.

Die Strecke des Nerven, welche auf den Bäuschen ruht, und von welcher der Nervenstrom in den Multiplicatorkreis abgeleitet wird, heiße die abgeleitete Strecke des Nerven; die auf den Platinblechen der stromzuführenden Vorrichtung liegende, welche dem erregenden Strome ausgesetzt wird, die erregte Strecke desselben.

Auch hier liefert Du Bois wieder den Beweis, daß dieſe Erſcheinungen ſo wenig, wie die oben auf Seite 820 betrachteten, von dem Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Multiplicatorkreis herrühren können.

Der elektrotoniſche Zuſtand zeigt ſich um ſo weniger ſtark, je weiter die abgeleitete Strecke von der erregten iſt.

Fig. 318.



Die Fortpflanzung des elektrotoniſchen Zuſtandes wird durch Unterbindung und Durchſchneidung gehemmt.

Aus den beſprochenen Verſuchen läßt ſich erwarten, daß, wenn die erregte Strecke des Nerven ungefähr in ſeiner Mitte liegt und ſeine beiden Enden abgeleitet ſind, wie dies Fig. 318 zeigt, daß man alsdann am einen Nervenende eine Zunahme des Stromes, am anderen dagegen eine Abnahme deſſelben beobachten werde, wenn ein conſtanter Strom die erregte Strecke durchläuft.

Zur Anſtellung dieſes Verſuchs ſind natürlich zwei Multiplicatoren nöthig; ebenſo iſt klar, daß man ihn nur mit den Nerven von ungewöhnlich großen Fröſchen anſtellen kann. Du Bois fand unter den angegebenen Umſtänden wirklich, daß die Ablenkung des einen Multiplicators zu-, die des andern abnahm.

Wird der Nerv nicht, wie es Fig. 317 zeigt, einerſeits mit dem Querſchnitt, andererſeits mit dem natürlichen Längsſchnitt, ſondern mit zwei Stellen des natürlichen Längsſchnittes auf die Bäuſche gelegt, ſo alſo, daß der urſprüngliche Nervenſtrom ungleich ſchwächer iſt als im vorigen Fall, ſo tritt beim Schließen der erregenden Kette die fragliche Veränderung im Nervenſtrom mit nicht geringerer Stärke ein, als in dem zuerſt betrachteten Falle. — Rückt die abgeleitete Strecke der Mitte des ganzen Nervenſtückes näher, ſo wird bekanntlich der Nervenſtrom immer ſchwächer, die Veränderung des Stromes aber nimmt nicht ab, die wir eintreten ſehen, wenn die über den Platinſchäufelchen liegende Nervenſtrecke von einem conſtanten Strom durchfloſſen wird. Wenn gerade das

Mittelstück des Nerven die abgeleitete Strecke bildet, so zeigt der Multiplicator gar keinen Nervenstrom. Wir sehen aber dieses stromlose Stück sogleich elektromotorisch werden, sobald die erregte Strecke von einem Strom durchlaufen wird, und zwar ist der Strom, welchen die abgeleitete Strecke in diesem Falle liefert, im Nerv gleichgerichtet mit dem erregenden Strome.

Diese ganze Erscheinungsreihe läßt sich kurz so zusammenfassen: *Sobald irgend eine Strecke der Länge eines Nerven von einem elektrischen Strome durchflossen wird, fängt der Nerv an, abgesehen von seiner gewöhnlichen Stromentwickelung, in allen seinen Punkten elektromotorisch zu wirken und zwar in dem Sinne jenes erregenden Stromes selber.*

Die elektromotorische Thätigkeit, welche wir unter diesen Umständen am Nerven auftreten sehen, ist wesentlich verschieden von derjenigen, welche den Nervenstrom bedingt. Hier fällt der Unterschied zwischen Längs- und Querschnitt ganz weg und der Nerv wird nach Art der Volta'schen Säule elektromotorisch; zur Erklärung des elektrotonischen Zustandes müssen wir also annehmen, daß die einzelnen elektromotorischen Theilchen säulenartig geordnet sind, daß der Strom, welcher die erregte Strecke des Nerven durchläuft, eine säulenartige Polarisation in der ganzen Länge des Nerven hervorbringt.

Die Anordnung der elektromotorischen Kräfte, die wir im elektrotonischen Zustande wirksam werden sehen, ist derjenigen an einer unter Wasser getauchten oder überall mit einer Schicht eines feuchten Leiters bekleideten Säule zu vergleichen. Die elektromotorischen Molekeln aber, welche gehörig geordnet, das Bild einer Säule geben sollen, müssen nothwendig *dipolar* seyn, einem zusammengelötheten Plattenpaare vergleichbar.

Zur Erklärung des ursprünglichen Nervenstromes haben wir aber die zur Erklärung des Muskelstromes aufgestellte, auf S. 816 besprochene Hypothese *peripolarer* Molekeln auf die Nerven übertragen. Es fragt sich nun, wie sich diese Annahme mit dem Eintreten des elektrotonischen Zustandes in Zusammenhang bringen läßt?

Du Bois löst diese Schwierigkeit in folgender Weise: — Man kann sich die peripolaren Molekeln aus je zwei dipolaren zusammengesetzt und diese dann in der Weise geordnet denken, wie dies Fig. 319 zeigt. Bei dieser Anordnung der elektromotorischen Molekeln im Nerven wird derselbe den gewöhnlichen Nervenstrom

Fig. 319.

zu entwickeln im Stande seyn. Beim Uebergang in den elektrotonischen Zustand trennen sich nun die beiden dipolaren Molekeln, welche vorher zu einem peripolaren verbunden waren, und die Hälfte derselben dreht sich so, daß nun die positiven Hälften alle nach einer, die negativen nach der anderen Seite gerichtet sind, wie dies Fig. 320 andeutet.

Der elektrotonische Zustand bietet in mancher Beziehung Aehnlichkeit mit dem Vorgange der Innervation dar, deshalb aber darf doch die säulenartige Polarisation keineswegs für einerlei gehalten werden mit dem Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange, welcher nur in dem Augenblicke des Hereinbrechens, Aufhörens, Umsetzens des Stromes stattfindet, nur durch Schwankungen der Stromdichte in den Nerven hervorgerufen wird, während der elektrotonische Zustand in gleicher Weise anhält, so lange die Kette geschlossen ist.

Fig. 320.

Schon damals, als bei Ritter und P. Ermann die ersten Grundzüge einer Theorie der Zuckungen auftauchten, machte sich die folgende Vorstellungsweise geltend: daß nämlich der Bewegung vermittelnde Vorgang, der im Augenblick der Schließung der Kette entstehe, von dem Uebergang des Nerven in einen veränderten Zustand herrühre; daß die Thätigkeit des Stromes eben darin bestehe, den Nerven in diesen veränderten Zustand zu versetzen und so lange er selber andaure, auch darin zu erhalten; daß nämlich die Oeffnungszuckung nichts sey, als die Folge des Rücktritts des Nerven aus dem veränderten Zustand in den natürlichen.

Du Bois stellt nun die Ansicht auf, daß wir in dem elektrotonischen Zustande jene dauernde Veränderung der Nerven durch den Strom wirklich erkannt haben. Wenn ein Strom auf einen Nerven wirkt, so ergeht es letzterem gleich jedem andern feuchten Leiter. Es wird Elektrolyse eingeleitet, welche mit säulenartiger Polarisation beginnt. Der Uebergang der natürlichen zur dipolaren Anordnung bedingt jene Gleichgewichtsstörung, die als Schließungszuckung, Schließungsschmerz sich geltend macht. Die Rückkehr von der dipolaren zur natürlichen Anordnung ist es, welche den Oeffnungsschlag veranlaßt. Die galvanische Reizung ist uns nichts mehr, als die erste Stufe der Elektrolyse eines Nerven.

Was die Wahl des Namens betrifft, mit welchem Du Bois die dauernde Veränderung der Nerven durch den Strom belegt, so sagt er darüber Folgendes: Zwischen dem Vorgange der Nervenerregung durch den Strom und dem der Induction eines stromführenden Leiters oder ei-

nes Magneten auf einen benachbarten Leiter findet eine Aehnlichkeit Statt, die bereits oben erwähnt wurde.

Faraday nahm an, daß in dem inducirten Drahte eine Veränderung vor sich gehe, welche so lange andauere, wie die inducirende Ursache selber.

Den Schließungsstrom betrachtet er als den Ausdruck des Ueberganges vom gewöhnlichen Zustand des Nebendrahtes in den veränderten, während sich die Rückkehr aus dem veränderten Zustand in den gewöhnlichen durch den Oeffnungsschlag kundgiebt. — Dieser veränderte Zustand nun, in welchem sich der inducirte Draht vom Schließungsschlage an bis zum Trennungsschlage befindet, nennt nun Faraday den elektrotonischen Zustand. Anfangs konnte er keine weiteren Beweise für die wirkliche Existenz dieses hypothetischen Zustandes beibringen und erst viel später gelang es ihm durch optische Mittel, wirklich eine Veränderung des Molekularzusammenhanges verschiedener Körper durch magnetisirende Einflüsse darzuthun.

Will man nun den Vergleich der Induction mit der Nervenerregung vollends durchführen, so ist klar, daß die säulenartige Polarisation der Nerven durch den Strom, Faraday's elektrotonischem Zustande der Materie entspricht; man kann also den in diesem Paragraphen besprochenen Zustand der Nerven nicht passender bezeichnen, als wenn man ihn den elektrotonischen Zustand der Nerven nennt.

Verhalten des Nervenstromes beim Tetanisiren auf elektrischem Wege. Läßt man eine Reihe gleichgerichteter Stromstöße von kurzer Dauer durch das auf den Platinschäufelchen aufliegende Nervenstück hindurchgehen, so zeigt die abgeleitete Strecke immer noch die positive und negative Phase des elektrotonischen Zustandes, die wir im vorigen Paragraphen kennen lernten. — Schaltet man in den Kreis der erregenden Kette ein Unterbrechungsrad ein, so erhält man beim Drehen desselben die Ausschläge in demselben Sinne, als ob man die erregende Kette stetig geschlossen hätte, so kurz auch die Dauer der jedesmaligen Schließung seyn mag. Das Unterbrechungsrad, dessen Du Bois sich bediente, war so eingerichtet, daß man die jedesmalige Schließungsdauer auf 0,001 Secunde herunterbringen konnte, während die Unterbrechungszeit zwischen zwei Schließungen etwa 19mal so groß war. Da die Phasen sich noch deutlich zeigten, so ist in diesen Versuchen die Gränze der Geschwindigkeit, womit der elektrotonische Zustand zu Stande zu kommen vermag, noch nicht erreicht. 299

Auch wenn man die Stöße des Extraſtromes, z. B. die eines Neef'ſchen Magnetelektromotors auf die erregte Strecke einwirken läßt, zeigen ſich noch die elektrotoniſchen Phaſen im richtigen Sinne; doch treten hier ſchon Störungen auf, indem die poſitive Phaſe bedeutend ſchwächer auftritt als die negative. Manchmal erfolgt in der poſitiven Phaſe gar keine ſichtbare Wirkung oder es tritt ſogar ein negativer Ausſchlag auf, der aber demjenigen an Größe weit nachſteht, welche der negativen Phaſe entſpricht. — Dies alles zeigt, daß hier der elektrotoniſche Zuſtand nicht mehr rein auftritt. Die Abweichung von der reinen Erſcheinung des elektrotoniſchen Zuſtandes deutet auf eine negative Stromesſchwankung hin, welche hier modificirend einwirkt.

Um dieſe negative Stromesſchwankung nachzuweiſen, muß man die Erſcheinungen des elektrotoniſchen Zuſtandes zum Verſchwinden bringen, was ganz einfach dadurch geſchieht, daß man ſtatt einer Reihe gleichgerichteter Stöße anzuwenden, den Nerv durch abwechſelnd gerichtete Ströme tetaniſirt.

Die geeignetſte Vorrichtung, um abwechſelnd gerichtete Ströme in raſcher Aufeinanderfolge durch ein Nervenſtück hindurchzuſenden, iſt nun der Inductionsapparat, da ja die Schließung des Hauptſtromes von einem entgegengeſetzt gerichteten, die Oeffnung deſſelben von einem gleichgerichteten Strome im Nebendrahte, in deſſen Schließungsbogen das Nervenſtück eingeſchaltet iſt, begleitet wird.

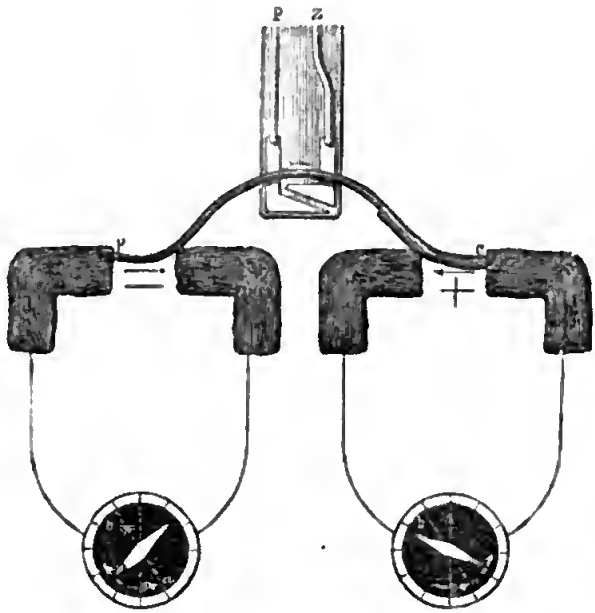
Der Erfolg des Tetaniſirens mit abwechſelnden Strömen, wenn Längs- und Querſchnitt auf den Bäuſchen aufliegen, iſt nun wirklich eine rückgängige Bewegung der Nadel nach dem Nullpunkt hin, unter günſtigen Umſtänden bis in den negativen Quadranten hinein.

Sind beide Enden des Nerven abgeleitet, wie Fig. 321 zeigt, ſo machen beide Multiplicatornadeln eine rückgängige Bewegung, wenn die erregte Nervenſtrecke durch abwechſelnd gerichtete Ströme tetaniſirt wird, während, wie wir oben ſahen, bei Anwendung beſtändiger Ströme die eine Hälfte des Nerven in die poſitive, die andere in die negative Phaſe des elektrotoniſchen Zuſtandes tritt, alſo die Ablenkung der Nadel im einen Multiplicator zu- im andern abnimmt.

Liegt die abgeleitete Strecke des Nerven auf beiden Bäuſchen mit dem Längsſchnitt auf, ſo zeigt ſich bekanntlich der urſprüngliche Nervenſtrom ungleich ſchwächer als beim Gegenſatz zwiſchen Längs- und Querſchnitt; aber auch die negative Stromesſchwankung, welche beim Tetaniſiren des Nerven mit abwechſelnd gerichteten Strömen ſtattfindet, erſcheint in gleichem Maaße geſchwächt wie der Nervenſtrom ſelbſt, während der elektroto-

nische Zustand sich unabhängig von der ursprünglichen Stärke des Nervenstromes an allen Stellen des Längsschnittes eben so stark zeigte, als wenn einerseits Längsschnitt, andererseits Querschnitt auflag.

Fig. 321.



Das Ergebniß des Tetanisirens der Nerven mit abwechselnden Strömen stimmt also genau überein mit dem elektromotorischen Ergebniß der Muskelzusammenziehung.

So ist denn der Beweis geliefert, daß das Tetanisiren der Nerven auf elektrischem Wege von einer Schwankung des ursprünglichen Nervenstromes in negativem Sinne begleitet ist, welche, vom elektrotonischen Zustande unabhängig, nichts Anderm zugeschrieben werden kann, als einer Verminderung der nach Außen gerichteten elektromotorischen Kräfte des Nerven. Diese negative Stromesschwankung ist nun wohl nichts Anderes, als der elektrische Ausdruck des Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorganges.

Um nun darüber volle Gewißheit zu erhalten, ist nur noch zu untersuchen, ob diese negative Stromesschwankung nicht vielleicht allein an das Tetanisiren auf elektrischem Wege geknüpft sey und bei anderen Arten des Tetanisirens fehle?

Negative Stromesschwankung beim Tetanisiren auf nicht elektrischem Wege. Die ersten Bemühungen, welche Du Bois machte, eine negative Stromesschwankung durch Tetanisiren auf nicht

elektrischem Wege nachzuweisen, waren so gut wie vergeblich. Es zeigte sich, daß sein Multiplicator zu diesen Versuchen bei weitem nicht empfindlich genug war. — Es blieb nichts übrig, als zur Construction eines neuen Instrumentes zu schreiten, die denn auch alsbald unternommen wurde. Der neue für die Untersuchungen am Nervenstrom bestimmte Multiplicator hatte 24160 Windungen. Der Ischiadicus eines Frosches warf die Nadel desselben mit Heftigkeit an die Hemmung und hielt sie in einer beständigen Ablenkung von 40 — 50°. Der Muskelstrom hielt sie beständig an der Hemmung.

Daß die Handhabung eines so empfindlichen Instrumentes mit bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft ist, versteht sich von selbst. Du Bois giebt darüber sowohl, wie auch über die Construction des Instrumentes ausführliche Mittheilungen.

Wirklich gelang es nun Du Bois, mit diesem Multiplicator während des Tetanisirens der Nerven auf anderm, als elektrischen Wege eine negative Schwankung ihres Stromes wahrzunehmen. Immerhin aber bleibt diese Erscheinung eine der zartesten, welche das Gebiet der experimentellen Wissenschaft aufzuweisen haben mag. Auch so noch geht stets eine große Mehrheit von Versuchen an den zahllosen Schwierigkeiten zu Grunde, von denen ihr Gelingen umgeben ist. Stets bleibt dasselbe mehr oder weniger in der Hand des Zufalls.

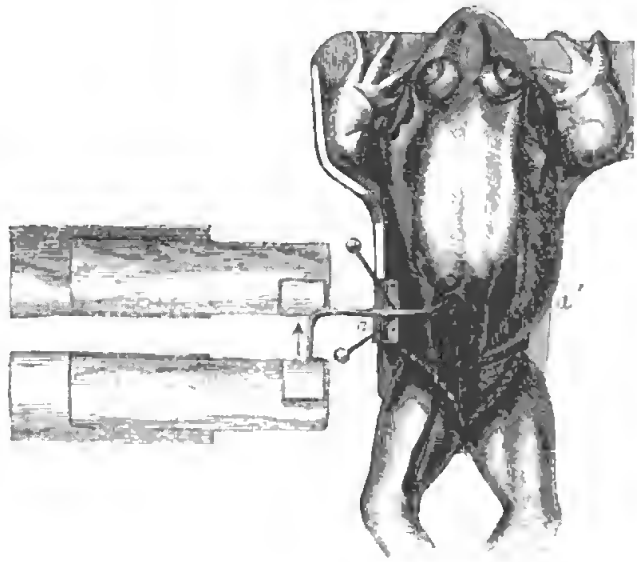
Um die Nerven vom Rückenmark aus durch Strychninvergiftung zu tetanisiren und die entsprechende negative Stromesschwankung nachzuweisen, wird folgendermaßen verfahren: Der Frosch wird auf einem dazu bestimmten Rahmen befestigt, vergiftet, die Arteria iliaca communis sinistra unterbunden, der Nerv von der Kniekehle bis an die Wirbelsäule frei zugerichtet, um mit seinem freien unteren Ende mit Längs- und Querschnitt über die Bäusche gebreitet zu werden, wie Fig. 322 andeutet.

Du Bois bezeichnet diesen Versuch als einen ungemein schwierigen. Nur von Zeit zu Zeit glückt er nach Wunsch und bietet dann folgende Erscheinung dar: Im Augenblick der tetanischen Strychnininnervation weicht die Magnetnadel um 1—3°, auch wohl um 4° zurück und nimmt sofort, jedoch nicht ganz, die vorige Höhe wieder ein. Sie thut dies nicht allein beim ersten Hauptanfall, der sich nach einer gewissen Zeit von selber einzustellen pflegt, sondern auch bei den einzelnen Stößen von ungleich kürzerer Dauer, welche man bereits vor dem Hauptanfalle im Stadium der Reflexbewegung durch Berührung hervorrufen kann.

Wird ein ausgeschnittener Nerv mit dem einen Ende in der bekannten Weise über die Bäusche ausgebreitet, so tritt unter günstigen Umständen eine negative Schwankung von 1 — 3° ein, wenn das andere Nervenende gequetscht oder gebrannt wird.

Das Tetanisiren des Ischiadicus von seinen Hautverzweigungen aus wurde auf folgende Weise bewirkt: Ein stromprüfender Froschschenkel, dem

Fig. 322.



jedoch die Haut gelassen ist, wird in den schrägen Schenkel eines communicirenden Rohres gesteckt und sein Kniegelenk durch ein passendes Korkstückchen an der obern Mündung festgehalten. Der Nerv liegt auf den Bäuschen auf. — Gießt man nun in den andern, vertikal stehenden Schenkel durch eine trichterförmige Oeffnung desselben eine siedende Kochsalzlösung ein, so steigt sie in dem schrägen Schenkel langsam empor und verbrüht Schritt für Schritt und durch und durch den darin befindlichen Unterschenkel. Während nun ein Frosch, den man sich am oberen Ende des Ischiadicus denkt, sich in gräßlicher Qual winden würde, sieht man hier die Nadel die bekannte negative Schwankung vollziehen.

Du Bois hat alle Einwendungen, die man etwa gegen diese Versuche machen könnte, gründlich beseitigt; doch können wir hier unmöglich weiter in Details eingehen.

Secundäre Zuckung von den Nerven aus. Um zu untersuchen, 301
ob die negative Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven stetiger oder unterbrochener Art sey, müssen wir das physiologische Rheoskop, den stromprüfenden Froschschenkel, an die Stelle des Multiplicators setzen. Ist die Schwankung stetiger Natur, so wird er unter allen Umständen in Ruhe bleiben, höchstens zu Anfang oder zu Ende derselben eine Zuckung zeigen dürfen. Ist sie unterbrochener Art, so wird dagegen der stromprü-

fende Schenkel in ſecundären Tetanus gerathen müſſen, wofern nur die einzelnen Stöße tief und ſchnell genug ſind, und der Schenkel hinreichende Erregbarkeit beſitzt, damit Zuckung ſtattfinden könne.

Der Verſuch wird in folgender Weiſe angeſtellt. Die Platinenden der ſtromzuführenden Vorrichtung ſind mit den Enden einer Grove'ſchen Kette verbunden. In den Kreis iſt ein Unterbrechungsrad eingeſchaltet. Ein Iſchiadicus wird über die Platinenden gebreitet. An Längs- und Querſchnitt des außerhalb der Platinenden auf der Glastafel ruhenden Theiles des Nerven legt man den Nerven des zur ſecundären Zuckung beſtimmten Unterſchenkels mit zwei Punkten des Längsſchnittes an. Wird das Rad gedreht, ſo tritt ſecundärer Tetanus, vom Nerven aus, ein.

Hier treten aber im primitiv erregten Nerven zweierlei Wirkungen auf: der elektrotoniſche Zuſtand und die negative Stromesſchwankung. Es iſt alſo noch zu unterſuchen, ob der ſecundäre Tetanus vom raſch aufeinanderfolgenden Eintreten und Verſchwinden des elektrotoniſchen Zuſtandes oder ob er von der negativen Stromesſchwankung herrührt. Die folgenden Ergebniſſe ſind in dieſer Beziehung beſonders entſcheidend.

Man erhält die ſecundäre Zuckung, auch wenn die beiden Nervenenden nur neben einander gelegt ſind; es iſt alſo nicht nöthig, daß der primitiv erregte Nerv den andern mit Längs- und Querſchnitt berührt.

Die Nähe der Elektroden übt einen entſcheidenden Einfluß auf die Stärke der Zuckungen aus. Iſt die Nervenſtrecke zwiſchen den Elektroden und der Berührungsſtelle der beiden Nerven ſehr groß, ſo tritt keine ſecundäre Zuckung mehr ein.

Da der elektrotoniſche Zuſtand mit der Entfernung von den Elektroden weit raſcher abnimmt, als die negative Stromesſchwankung, ſo kann nach dieſen Reſultaten kein Zweifel bleiben, daß der Eintritt und das Aufhören des elektrotoniſchen Zuſtandes die ſecundäre Zuckung erzeugen und daß dieſelbe nicht durch die negative Stromesſchwankung hervorgebracht werden kann.

Wird der Nerv auf irgend eine nicht elektriſche Weiſe tetaniſirt, ſo iſt er unfähig, eine ſecundäre Zuckung zu erzeugen. Die Reizung muß durchaus eine elektriſche ſeyn.

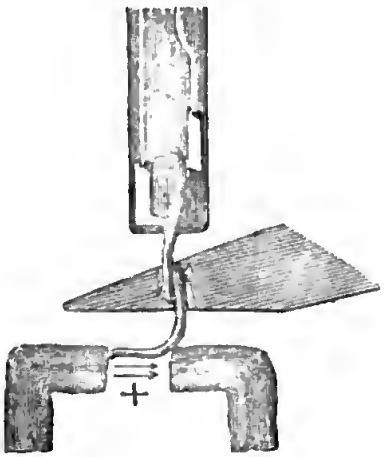
Die Frage nach der ſtetigen oder unterbrochenen Natur negativer Stromesſchwankung kann alſo wohl auf dieſem Wege nicht entſchieden werden.

Die ſecundäre Zuckung vom Nerven und diejenige vom Muskel aus ſind nach alledem hinſichtlich ihres Urſprungs wohl auseinander zu halten. Die letztere rührt her von der negativen Schwankung bei der Zuſammenziehung, ſie iſt daher unabhängig von der Art und Weiſe, wie die Zuſammenziehung hervorgebracht wurde. Die ſecundäre Zuckung vom Nerven aus rührt weſentlich her vom Eintritt oder vom Aufhören des elektroto-

nischen Zustandes, und ihr Zustandekommen ist deshalb gebunden an diese besondere Art der Erregung des Nerven, nämlich die Reizung auf elektrischem Wege.

Du Bois hat nun ferner nachgewiesen, daß sich auch der elektrotonische Zustand von dem unmittelbar elektrisch erregten Nerven auf den mittelbar zu erregenden überträgt; er hat gezeigt, daß der letztere gleichzeitig mit dem ersteren im Augenblick der Schließungszuckung in elektrotonischen Zustand geräth und ebenso gleichzeitig mit jenem im Augenblick der Oeffnungszuckung aus demselben wieder austritt. Es versteht sich von selbst, daß der Zuwachs in diesem *secundären elektrotonischen Zustande* an dem Multiplicator für den Muskelstrom auf eine bloße Spur zurücksinkt; an dem Multiplicator für den Nervenstrom hingegen ist die Wirkung noch sehr ausgesprochen: bei mittleren Verhältnissen erfolgen 8—10° Ausschlag. Fig. 323 erläutert die Anstellung des Versuchs.

Fig 323.



In der zweiten Hälfte des zweiten Bandes, welche hoffentlich bald erscheinen wird, will Du Bois zunächst das Verhalten des Muskelstromes am lebenden unversehrten Körper der Thiere und des Menschen besprechen.

Eine hierher gehörige Erscheinung hat jedoch Du Bois bereits, wenn auch nur in aller Kürze, in den comptes rendus (t. 30, Seite 349) veröffentlicht, nämlich die, daß durch willkürliche Contraction der Muskeln den Armen eines lebenden Menschen ebenfalls die negative Schwankung des Muskelstromes sichtbar gemacht werden kann. Ueber die Art, wie der Versuch anzustellen ist, wird an der citirten Stelle nichts Näheres gesagt. Mir ist der Versuch in folgender Weise gelungen: An die beiden Enden des Multiplicatordrahtes wurden die kupfernen Handhaben einer Magnetelektrisirmaschine eingeschraubt. Sobald man sie mit den befeuchteten Händen anfaßte, verließ die Multiplicatornadel ihre Gleichgewichtsstellung, um nach einigen Oscillationen wieder, wenn auch nicht mehr genau im Nullpunkt, zur Ruhe zu kommen. Contrahirt man nun die Muskeln des einen Arms und der einen Hand, indem man die Handhabe kräftig drückt, so sieht man sogleich die Nadel ihre neue Gleichgewichtslage verlassen, um einen Ausschlag von 10 bis 20 Grad nach der einen Seite zu machen. Zieht man jetzt, wenn die Nadel ihren Rückschwung beginnt, die Muskeln des zuerst contrahirten Armes in Ruhe lassend, die Muskeln des

andern Arms zuſammen, ſo kann man dadurch die Nadel auf der andern Seite noch weiter aus der Gleichgewichtslage treiben. Wechſelt man auf dieſe Weiſe mit der Contraction der Arme in den gehörigen Momenten ab, ſo kann man bedeutende Oſcillationen hervorbringen. An meinem Multiplicator von 3700 Windungen habe ich es leicht bis zu einem Ausſchlag von 40—50 Grad auf jeder Seite der Gleichgewichtslage gebracht

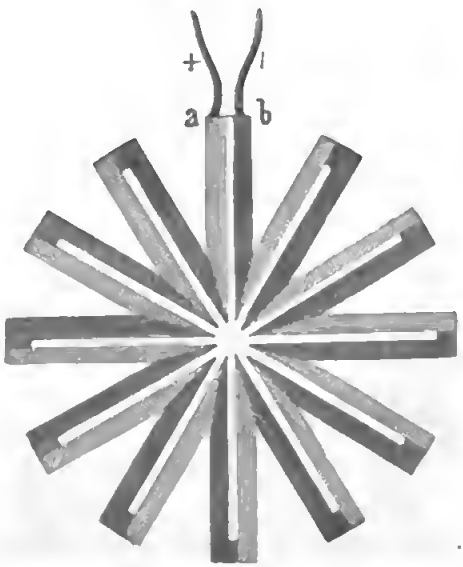
Elfter Abſchnitt.

Thermoelektricität.

Thermoſäulen. Nobili gab (Pogg. Ann. 36. Bd. p. 525) zwei neue Conſtructionen der Thermoſäule an, wodurch dieſelbe empfindlicher und bequemer wird; er nennt die eine Strahlenſäule und die andere Schlitzſäule. Die Strahlenſäule hat folgende Einrichtung: die Stäbchen ſind ſämmtlich paarweiſe ſo zuſammen gelöthet, wie Fig. 324 zeigt, wo *a* und *b* die beiden letzten Elemente mit den angelötheten Leitern vorſtellen. Nach dem Verlöthen werden ſie mittelſt Harz auf eine Holzſcheibe gekittet, welche in der Mitte eine Oeffnung hat. Dieſe Scheibe kommt in die meſſingene Kapſel *ab*, Fig. 325 (ſ. f. S.), welche in jedem Boden eine Oeffnung von etwa 15 Millimeter Durchmeſſer erhält. Die Oeffnung auf *A* kann mittelſt des Schiebers *B* verändert werden, indem die auf dem Schieber befindlichen Oeffnungen von 3 — 12 Millimeter ſteigen. Dieſe Oeffnung dient die Wärmeſtrahlen einzulaſſen. Vor der Oeffnung des andern Bodens iſt das Rohr *C* befeſtigt, das in ſeinem Deckel eine ganz kleine, noch durch ein Glimmerblatt verſchloſſene Oeffnung hat, um der Säule

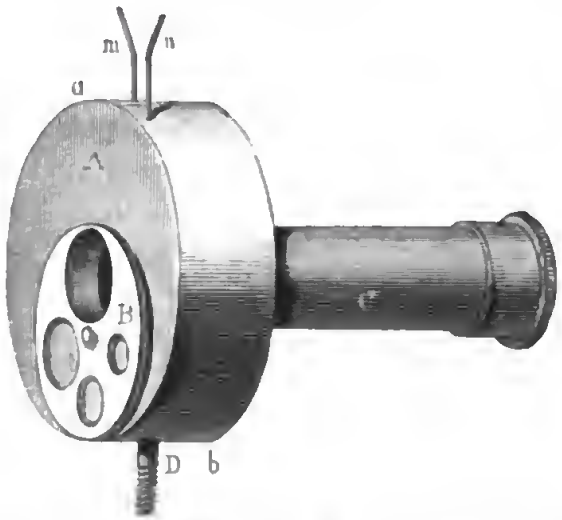
302

Fig. 324.



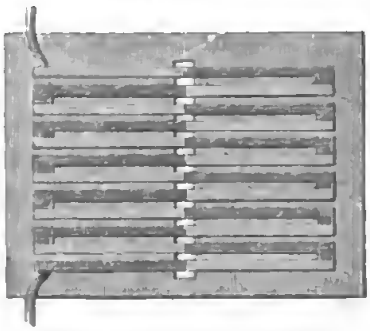
die genaue Stellung geben zu können, indem man durch die kleine Oeffnung und den Mittelpunkt der Säule ſelbſt nach der Wärmequelle ſieht; der Zapfen *D* dient zur Befeſtigung auf irgend ein Stativ; die Drähte *m n* gehen iſolirt durch die Meſſingkapſel und ſind an die Pole der Säule verlöthet. Nobili hat ſolche Säulen von 8 bis 20 Paaren angefertigt, zweifelt aber, ob der durch letztere Zahl erreichbare Vortheil für die ungemein ſchwierige Ausführung entſchädige. Die Vortheile dieſer Conſtruction liegen hauptſächlich darin, daß man auch bei ſehr kleinen Bündeln von Wärmeſtrahlen dennoch alle Elemente der Säule in Wirkſamkeit hat, und daß man in Fällen, wo die Einwirkung zu ſtark wäre, leicht durch den Schieber *B* abhelfen kann.

Fig. 325.



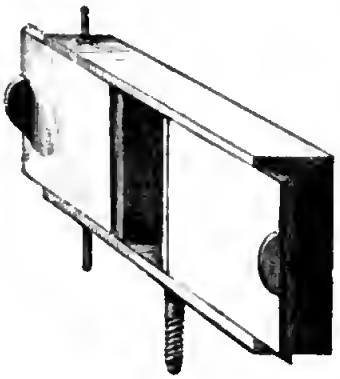
Die Schlitzſäule iſt vorzüglich beſtimmt, um ſchmale geradlinigte Wärmequellen anwenden zu können, wie z. B. bei Interferenzverſuchen. Zu dem Ende ſind die Elemente ebenfalls alle in einer Ebene angebracht, ſo aber wie Fig. 326 zeigt, wobei die gleichnamigen Löthſtellen alle in einer geraden Linie unter einander liegen. Nobili nahm dieſelben ſo fein, daß 8 derſelben ſammt dem Zwiſchenraum nur 15 Millimeter Platz erfordern, wie etwa in der Figur. Bei dieſer Zartheit bleibt nichts anderes übrig, als die fertige Säule mittelſt Harz ebenfalls auf ein Brettchen zu kitten, welches für die mittlere Reihe der Löthſtellen einen Schlitz hat. Mit dieſem Brettchen kommt die Säule in ein Käſtchen, wie Fig. 327, das vorn nur durch zwei Schieber geſchloſſen iſt, zwiſchen denen man für den Eintritt der Wärmeſtrahlen eine be-

Fig. 326.



liebige Spalte offen lassen kann; auf der entgegengesetzten Seite hat das Kästchen ebenfalls einen Schlitz, der durch ein Glimmerblatt verschlossen ist, und durch welchen hindurch man die Säule nach der Wärmequelle richten kann.

Fig. 327.



Munke hat in Pogg. Ann. 47. Bd. eine detaillirte Anleitung gegeben, wie man beim Verlöthen der Säulen zu verfahren habe. Diese Anleitung bezieht sich jedoch vorzugsweise auf größere Säulen, und ich glaube daher, es dürfte hier an der einfachen Erwähnung genügen, da Jeder die Sache selbst am angeführten Orte nachsehen kann, wenn er in den Fall kommt, die genannten Arbeiten vorzunehmen. Munke hat Stäbe angewendet von 27 Linien Länge, 5 Linien Breite und 4 Linien Dicke; solcher Stäbe verwendete er 81 zu einer Säule aus 9 Reihen, die Zwischenräume wurden mit Gyps gefüllt und dieser mit Schellackfirniß getränkt, um die eine Seite mit schmelzendem Schnee in Berührung bringen zu können. Auf die andere Seite wurde in geringem Abstand eine Kupferplatte mit aufgebogenem Rande gelegt, und auf diese glühende Kohlen. Versuche, welche damit gemacht wurden, werden weiter unten erwähnt.

Ketten für große Temperaturdifferenzen werden aus Eisen und Platin gefertigt; für solche Fälle, wo man es mit nicht ganz hohen Temperaturen zu thun hat, schlug Poggendorff (Ann. 50. Bd.) eine Kette aus Eisen und Neusilber vor, welche viel wohlfeiler und empfindlicher ist, da Neusilber in der thermoelektrischen Reihe positiver ist als Platin. Poggendorff hat sich durch directe Versuche von der größern Wirkung einer solchen Kette bei gleicher Temperaturdifferenz überzeugt.

Wirkungen der Thermoelektricität. In der hier zu betrachtenden 303
Epoche wurden insbesondere noch Versuche angestellt, um nachzuweisen, daß man durch Thermoströme der Art nach alle Wirkungen erhalten könne, welche hydroelektrische Ströme hervorbringen. In dieser Beziehung zeigte Watkins (Pogg. Ann. 42. Bd. und Phil. Mag. XI, p. 304), daß der Thermostrom auch Magnetismus errege, und zwar brachte Watkins mit einer Kette aus 30 Paaren Wismuth und Antimon in Platten von $1\frac{1}{2}$ Quadratzoll und $\frac{1}{3}$ Zoll Dicke einen Elektromagnet zu Stande, der 90 Pfund trug. Die Erregung geschah einerseits durch die Strahlung von glühendem Eisen, andererseits durch Eis. Auch Munke hatte mit seiner

oben erwähnten großen Thermoſäule kräftige magnetiſche Wirkung erhalten.

Funken hat Munke beim Schließen der Kette nicht erhalten, wohl aber beim Oeffnen, wenn dieſelbe mit einer Inductionsſpirale verbunden war, und Watkins will (Pogg. Ann. 42. Bd. p. 589) ſolche in dieſem Falle ſelbſt durch eine einfache Wismuth-Antimon-Kette erhalten haben, obwohl jeder Stab nur 0,5 Zoll lang und 0,12 Zoll dick war und nur 5 Gran wog. Indeſſen ſind die näheren Umſtände nicht angeführt

Auch Waſſerzerſetzung hat Botto in Turin zu Stande gebracht, die näheren Umſtände ſind mir jedoch nicht bekannt. Auch Andere haben ähnliche Verſuche mit Erfolg angeſtellt, namentlich Alexander (Poggendorff's Ann. 42. Bd.); er benutzte hierzu einen gewöhnlichen Waſſerzerſetzungsapparat und durch ſehr wenig Schwefelſäure angeſäuertes Waſſer. Seine Batterie beſteht aus einer horizontalliegenden vierſeitigen Säule von 25 Elementen aus Wismuth und Antimon, jede Platte zu $1\frac{1}{2}$ □″ Fläche und 1‴ Dicke. Die Elemente ſind mit Zinn gelöthet. Munke konnte mit ſeiner Säule keine Waſſerzerſetzung erhalten, wohl aber mit Hülfe einer großen Spirale beim Oeffnen der Kette ſchwache Erſchütterungen.

304 **Wärmeentwickelung** erhielt Watkins durch den Thermoſtrom in einem nach der Angabe von Harris gefertigten Luftthermometer, ſo wie in einem Breguet'ſchen Metallthermometer. In beiden Fällen war die directe Wärmeleitung der Kupferdrähte dadurch aufgehoben, daß dieſelben mit Eis umgeben waren.

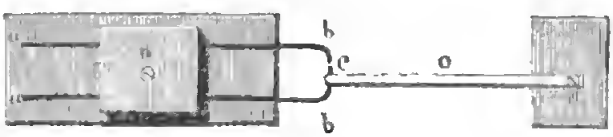
305 **Thermoelektriſche Erſcheinungen bei Berührung gleichartiger, aber ungleich warmer Körper** wurden von Vielen beobachtet, wie von Becquerel (Pogg. Ann. 44. Bd.), von Matteucci (Pogg. Ann. 47. Bd.), Vorſſelman de Heer (ebend. im 49. Bd.), von Henrici (Pogg. Ann. 80. Bd.). Daß bei Berührung von zwei gleichartigen Leitern, deren einer erwärmt iſt, und die mit dem Multiplicator verbunden ſind, ein elektriſcher Strom entſtehe, fand man ſo ziemlich allgemein beſtätigt; allein über die Richtung dieſes Stromes wurden abweichende Reſultate erhalten. Einen Theil dieſer Abweichungen erklärte de Heer durch Berückſichtigung der thermoelektriſchen Eigenſchaften des Queckſilbers, denn Matteucci hatte die ungleich warmen Metalle durch Queckſilber in Berührung gebracht. In dieſen Fällen handelte es ſich alſo, wie de Heer richtig erläutert, nicht mehr um Berührung gleichartiger Metalle, und er zeigt aus den erhaltenen Reſultaten, daß die thermoelektriſche Reihe folgende ſeyn müſſe: Wismuth, Queckſilber, Platin,

Kupfer, Zink, Silber, Eisen, Antimon. Eine besondere Discussion veranlaßte zwischen den obengenannten Beobachtern die Frage, ob auch dann ein elektrischer Strom entstehe, wenn heißes und kaltes Queckſilber in Berührung komme; ſie wurde von Becquerel und de Heer bejaht, von Matteucci und Henrici verneint. Die Verſuche wurden im Allgemeinen ſo angeſtellt, daß zwei Portionen Queckſilber durch gleichartige Drähte mit dem Multiplicator verbunden wurden, hierauf wurde die eine Portion an einer Stelle erwärmt und dann beide Portionen in Berührung gebracht. Es handelte ſich hierbei darum, das Queckſilber entweder in Glasröhren oder hölzernen Rinnen in ſo lange Fäden zu bringen, daß nicht etwa ſchon vor der Schließung die der einen Portion mitgetheilte Wärme ſich bis zu dem darin befindlichen Drahte fortpflanzt, und ſo erklären auch diejenigen die poſitiven Reſultate der andern Beobachter, welche ſelbſt nur negative erhielten. Entſchieden ſcheint dieſe Frage noch nicht zu ſeyn.

Eine Hauptfrage bei den hierher gehörigen Verſuchen war natürlich die, ob der Strom bei Berührung gleichartiger Metalle an der Berührungsſtelle vom heißen zum kalten Drahte oder umgekehrt laufe. De Heer giebt nach ſeinen Verſuchen an, der Strom gehe bei Kupfer und Platin vom heißen zum kalten Metall, bei Zink, Eiſen und Silber aber vom kalten zum heißen, während bei Wismuth und Antimon die Richtung zweifelhaft blieb, indem ſie von der Temperaturdifferenz abhängig war, ſo daß z. B. bei Antimon der Strom vom Kalten zum Warmen ging, wenn die Temperaturdifferenz groß war, und bei geringerer Differenz eine umgekehrte Richtung annahm.

Henrici fand, daß überhaupt die angewendete Temperatur bei dieſen Erſcheinungen von großem Einfluß ſey, indem hohe Temperaturen nicht nur die Beſchaffenheit der Oberflächen, ſondern auch die innere Structur der Drähte ändern, und dadurch die Erſcheinungen weſentlich modificiren. Er wendete daher in der Regel immer nur ſehr mäßige Temperaturdifferenzen an. Der Apparat, welchen Henrici anwendete, war folgender: Auf einem mit Leinöl gefirnißten Holze konnten die anzuwendenden Drähte, deren Enden *a a*, Fig. 328, mit dem Multiplicator verbunden

Fig. 328.



waren, mittelſt des Brettchens *n* ſo befeſtigt werden, daß ihre rechtwinklig gebogenen Enden *b*, die auf mattem Glaſe eben geſchliffen waren, bei *c*

durch leichte Federung in Berührung kamen. Auf den einen Draht wurde nun das Ende eines an einem Klötzchen befeſtigten Meſſingſtreifens gelegt und dieſer dann irgendwo, etwa bei *o*, durch eine darunter geſetzte kleine Oellampe, deren Flamme das Metall nicht berührte, erwärmt. Bei Verſuchen mit Queckſilber befand ſich daſſelbe in einer in Holz geſchnittenen Rinne, deren halbe Länge *a c*, Fig. 329, 28 Centimeter betrug, und war bei *a a* mit dem Multiplicator verbunden und bei *c* durch eine eingeſchobene Scheidewand aus Kork getrennt. Die Erwärmung des Endes der einen Rinne geſchah hier durch einen Eiſenſtreifen. Die Scheidewand wurde weggenommen, wenn das Queckſilber auf der einen Seite derſelben erwärmt war.

Fig. 329.

Mit dieſem Apparate erhielt Henrici die in folgender Tabelle enthaltenen Reſultate, wobei die Stromsrichtung vom Warmen zum Kalten (an der Berührungsſtelle) als poſitiv bezeichnet iſt.

Metalle.	Strom.	Abweichung am Galvanometer.
1. Kupfer in Drähten	+	3°, 4°
2. Meſſing in Drähten	+	5°, 4°
3. Silber in Drähten aus gewöhnlichen Thalern	+	3°, 1°
4. Dieſelben Drähte geglüht	+	4°, 3½°
5. Silber in Drähten (von den feinſten hannöverſchen Thalern, ſehr rein)	—	2°, 3°
6. Dieſelben Drähte, beide geglüht	—	1°, 1°
7. Zinn in Drähten	+	3½°, 2°
8. Kadmium desgl.	+	2°, 1½°
9. Platin desgl.	+	5°, 4°
10. Daſſelbe geglüht.	+	7°, 6°
11. Gold in Drähten	+	5°, 5½°
12. Neuſilber desgl.	+	6°, 7°
13. Nickel in Streifen	+	13°,14°
14. Zink in Streifen	—	11°,12°
15. Zink in Drähten	—	14°,16°
16. Eiſen desgl.	—	15°,16°
17. Antimon in dünnen Stangen	—	20°,20°
18. Wismuth desgl.	—	40°,50°
19. Blei in Drähten		0°
20. Queckſilber		0°

Die Drähte waren nicht über 2 Millimeter dick, und die beiden in der Tabelle enthaltenen Ablenkungen wurden erhalten, jenachdem der eine oder der andere Draht erwärmt wurde.

Welch großen Einfluß Aenderungen in der Härte ꝛc. auf den Erfolg haben, zeigen folgende mit den Meſſingdrähten Nr. 2 von Henrici angeſtellte Verſuche. Zuerſt gaben ſie bei abwechſelnder Erwärmung poſitive Ströme von 4° und 5°, nachdem ſie aber in einer Weingeiſtflamme ſtark ausgeglüht und mit Bimsſtein gereinigt waren, negative Ströme von $1\frac{1}{2}$—3°. Geglüht während fortgeſetzter Berührung gaben dieſelben Drähte nach dem Erkalten und ohne vorherige Reinigung bei abwechſelndem Erwärmen Ströme von 20°—30°. Als die Enden nachher flach gehämmert und wieder gereinigt waren, gab die Erwärmung des einen Endes einen poſitiven Strom von 3°, die Erwärmung des andern einen negativen von $5\frac{1}{2}$°. Nach wiederholtem Glühen und Reinigen gaben die Drähte zuerſt poſitive Ströme von $\frac{1}{4}$° und $\frac{1}{2}$° und bei zunehmender Erwärmung negative von 4° und 5°. Das auffallendſte Beiſpiel von ſolchen Umkehrungen der Stromesrichtung erhielt Henrici an zwei Kadmiumdrähten, ſie gaben anfangs poſitive Ströme von $1\frac{1}{2}$° und 2°, bei größerer Wärme negative von 4° und 4°, dann wieder poſitive von 3° und doch zeigten ſich beim Abnehmen der Drähte beide Berührungsſtellen völlig glänzend und anſcheinend frei von Oxyd.

Henrici hat auch den Erfolg unterſucht, wenn der ununterbrochene Schließungsdraht des Galvanometers an irgend einer Stelle erwärmt wurde. Er verwendete hiezu Drähte von Kupfer, Meſſing, Platin, Zink, Neuſilber, Eiſen und Kadmium und fand beinahe an allen ſolche Stellen, deren Erwärmung durch den Meſſingſtreifen bald einen poſitiven, bald einen negativen Strom hervorrief. Da Henrici geneigt iſt, den Erfolg bei getrennten Drähten, deren einer erwärmt wird, einer dadurch bewirkten weitern Ungleichheit entweder der Structur im Innern oder der Beſchaffenheit der Oberfläche anzunehmen, ſo ſchließt er aus den eben angeführten Verſuchen, daß an den wirkſamen Stellen dieſer ganzen Drähte ebenfalls innere Structurverſchiedenheiten vorhanden ſeyen. Henrici vermuthet ferner, daß die Veränderungen in der Beſchaffenheit der Oberfläche und der Structur, welche durch die Erwärmung bewirkt werden, eine Ungleichheit in dem Strahlungsvermögen im Gefolge haben möchten, und daß hierin der eigentliche Grund der ganzen Reihe der Erſcheinungen liege, obwohl er zugeſteht, daß bei dem jetzigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe über die Bewegung der Wärme im Innern der Körper noch nicht wohl daran gedacht werden könne, zu erklären, wie eine Aenderung in der Richtung dieſer Bewegung Elektricitätsentwickelung zur Folge haben könne. Merkwürdig bleibt jedenfalls für eine künftige Theorie die von Henrici feſtgeſtellte Erfahrung, daß das Ausglühen die Metalle in der thermoelektriſchen Reihe dem Wismuth näher bringt.

306 **Pyroelektricität der Kryſtalle.** Schon Hauy erkannte, daß das Auftreten der Elektricität beim Erwärmen gewiſſer Kryſtalle mit der Hemiëdrie derſelben im Zuſammenhang ſtehe, ohne jedoch die Art dieſes Zuſammenhanges näher zu verfolgen. Brewſter (Pogg. Ann. 2. Bd. p. 301) entdeckte ſpäter viele Körper, welche beim Erwärmen polar-elektriſch werden, ohne daß an den Kryſtallen derſelben bis jetzt eine Hemiëdrie beobachtet worden wäre; daher man noch nicht berechtigt iſt, anzunehmen, daß galvaniſche Elektricität und polariſche Hemiëdrie ſtets eine Folge von einander ſind.

Die Erſcheinung der polaren Elektricität während des Erwärmens oder des Erkaltens findet ſich aber doch am ſtärkſten an hemiëdriſchen Kryſtallen ausgeprägt und hier findet auch ein beſtimmter Zuſammenhang zwiſchen der elektriſchen Polarität und der Kryſtallform ſtatt. Köhler (Pogg. Ann. 13. Bd. p. 629) hat dies für Borazit und Kieſelzinkerz nachgewieſen, bei dem Turmalin aber hatte er einen ſolchen noch nicht ausfindig gemacht.

Roſe (Pogg. Ann. 39. Bd. p. 285) hat die Beziehungen der elektriſchen Polarität des Turmalins zu ſeiner Kryſtallform ausführlich unterſucht und gelangt zu folgendem Reſultate: Die vorherrſchende Form des Turmalins iſt eine dreiſeitige Säule, welche an beiden Enden durch Rhomboederflächen begränzt iſt; an dem einen Ende nun treffen die Kanten des Rhomboeders auf die Kanten der Säule, wie Fig. 330, wo *g* die zur Linie verkürzten Säulenflächen, *R* die Rhomboëderflächen ſind. Am andern Ende aber treffen die Rhomboëderkanten auf die Mitte der Säulenflächen, wie Fig. 331 zeigt. Während die Temperatur ſteigt, zeigt nun das Ende Fig. 330 poſitive, das Ende Fig. 331 negative Elektricität; bei ſinkender Temperatur hingegen iſt das Ende Fig. 330 negativ, das andere aber poſitiv elektriſch.

Fig. 330.

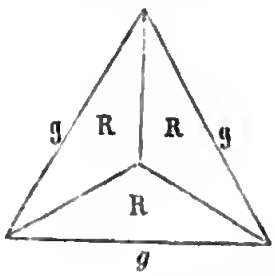
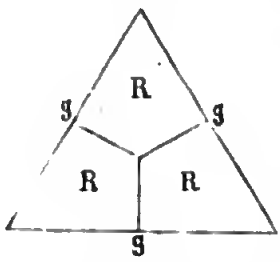


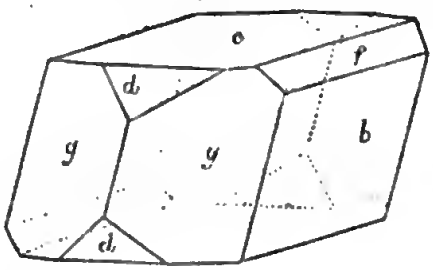
Fig. 331.



Hankel (Pogg. Ann. 49. Bd. p. 493) wandte zur Beſtimmung der elektriſchen Polarität von Kryſtallen das Bohnenberger'ſche Elektroſkop an. Der Zucker zeigte eine ſolche Polarität, wenn ſeine Temperatur ſtieg oder abnahm, wie dies bereits Brewſter beobachtet hatte. Die Kryſtallform des Zuckers iſt die Fig. 232 dargeſtellte; er iſt aber häufig in der Art hemiëdriſch, daß die beiden Flächen *d* an der vorderen Kante

fehlen, während sie an der gegenüberstehenden hintern Kante auftreten. Hankel fand nun, daß beim Erkalten dasjenige Ende negativ elektrisch ist, an welchem die Flächen *d* fehlen, positiv hingegen an der gegenüberliegenden Kante, wo sie sich vorfinden. Beim Erwärmen zeigt der Krystall natürlich die entgegengesetzte Polarität.

Fig. 332.



Hankel untersuchte ferner in dieser Beziehung die Weinsäure, das weinsaure Kali-Natron, das Kieselzinkerz, bei welchem er Köhler's Angaben bestätigt fand, den Axinit, Prehnit und Mesotyp. Wir können hier natürlich nicht auf die Details dieser Untersuchung eingehen.

In mehreren Aufsätzen, die sich im 50. Bande von Poggendorff's Annalen finden, bespricht Hankel ferner die elektrische Polarität des Turmalins, bei welchem er Rose's Angaben bestätigt findet, des Topases, des Titanits, des Borazits und des Bergkrystalls.

Eine neue gründliche Untersuchung des besprochenen Gegenstandes haben G. Rose und Rieß angestellt. Sie bezeichnen die beim Erwärmen und während der Erkaltung von Krystallen auftretende Elektricität, nach Brewster's Vorgang, mit dem Namen der Pyroelektricität, um nicht zwei ganz verschiedene Erscheinungen unter dem Namen der Thermoelektricität zusammenzufassen.

Denjenigen Pol des Krystalls, an welchem das algebraische Zeichen des Temperaturzuwachses dem Zeichen der dadurch erregten Elektricität entspricht, nennen sie den analog elektrischen Pol; den andern Pol nennen sie den antilog elektrischen Pol.

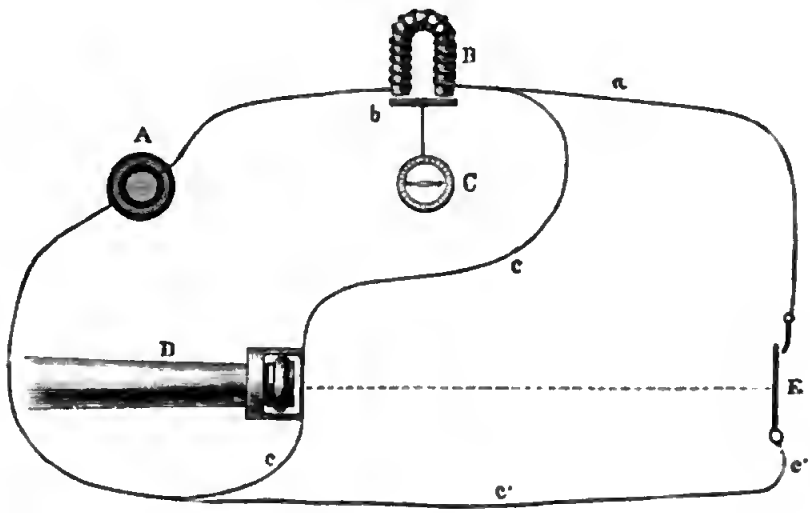
Beim Turmalin ist demnach das Ende, an welchem die Flächen des Hauptrhomboëders auf den Kanten des dreiseitigen Prismas aufgesetzt erscheinen, Fig. 331, der antilog elektrische Pol, während Fig. 330 den analog elektrischen Pol darstellt.

Beim Borazit fanden Rose und Rieß Köhler's Angaben bestätigt, daß die 4 Hexaëderecken, an welchen sich die glänzenden Tetraëderflächen finden, die antilogen, die 4 andern, die theils ohne, theils mit matten Tetraëderflächen vorkommen, die analogen Pole sind. Hankel's Behauptung hingegen, daß der Borazit außer diesen 4 Axen noch 3 andere habe, die mit den Octaëderaxen des Krystalls zusammen fallen sollen, bestreiten sie. Sie weisen nach, daß Hankel's Beobachtungsmethode zu Täuschungen Anlaß gab, welche außer dieser noch mehrere andere irrige Behauptungen zur Folge hatten.

Nachträge.

307 **Das elektriſche Chronoſkop.** Die große Geſchwindigkeit der elektriſchen Ströme benutzte Wheatſtone, um ſehr kleine Zeiträume zu meſſen, und zwar befindet ſich die erſte Nachricht hiervon nach Wheatſtone's eigener Angabe (Compt. rend. XX. p. 1555) in dem Bulletin über die Sitzung der Brüſſeler Akademie der Wiſſenſchaften vom 7. October 1840. Die nächſte Abſicht Wheatſtone's war, die Zeit zu meſſen, welche Geſchützkugeln zum Durchlaufen beliebiger Strecken ihrer Bahn brauchen. Seine Einrichtung zeigt die ſchematiſche Fig. 333.

Fig. 333.



A iſt die elektriſche Batterie; einer ihrer Pole iſt mit dem Elektromagneten *B* verbunden; iſt der Strom geſchloſſen und alſo der Anker des Magnets angezogen, ſo ſteht die Uhr *C* ſtill; verliert aber der Magnet ſeine Kraft, ſo zieht eine Feder den Anker *b* ab und dadurch wird das Uhrwerk *C* ausgelöſt und läuft ſo lange bis der Strom wieder geſchloſſen wird

Dieſes Oeffnen und Schließen der Kette bewirkt die Kugel auf folgende Weiſe. Um die Mündung des Geſchützes *D* iſt ein Holzring gelegt, über welchen einer der beiden Drähte *c*, *c'* geſpannt iſt, welche vom anderen Pole der Säule kommen, das Ende dieſes Drahtes geht zum Magnet und ſchließt die Kette; dieſe Verbindung wird durch die heraustretende Kugel zerriſſen, die Kette geöffnet, und ſo die Uhr in Bewegung geſetzt. Der zweite Draht *c'* iſt mit einem in beliebiger Entfernung aufgeſtellten Ziele *E* verbunden, welches ſo eingerichtet iſt, daß die geringſte Bewegung, welche ihm mitgetheilt wird, eine kleine Metallfeder in dauernde Berührung mit einem Metallſtücke bringt, welches durch den Draht *a* mit demſelben Pole des Magnets verbunden iſt, wie der Draht *c*. Berührte nun die Kugel das Ziel, ſo wurde dadurch die Kette abermals geſchloſſen, der Anker angezogen und das Uhrwerk geſtellt. Der Zeiger giebt nun die von der Kugel verwendete Zeit an. Ein ſolches Chronoſkop, welches in der Artillerieſchule zu Woolwich einer Commiſſion von Officieren vorgezeigt wurde, gab $^1/_{7300}$ Secunden an.

Wheatſtone fand indeſſen eine bedeutende Fehlerquelle darin, daß der Anker nicht raſch genug vom Magnet losging und ebenſo nicht raſch genug angezogen wurde; er ſuchte dieſem dadurch abzuhelfen, daß der Magnet vor dem Schuſſe nur durch ein Element angeregt wurde, deſſen Wirkung er durch einen Rheoſtat ſo abglich, daß der Anker nur gerade noch haftete. Das Wiederanziehen des Ankers aber, nachdem die Kugel das Ziel berührt hatte, wurde durch 6 kräftige Elemente bewirkt. Allein auch ſo waren Annäherungen von $^1/_{500}$ — $^1/_{1000}$ Secunde noch ganz unſicher. Wheatſtone glaubt aber Annäherungen auf $^1/_{60}$ Secunde ſicher erreichen zu können.

Später conſtruirte Wheatſtone ein Chronoſkop, bei welchem das Gewicht an einem auf der Axe des Hemmrades mit ſehr einfacher Hemmung aufgewickelten Faden hing und der Zeiger an derſelben Axe ſteckte. Die Art der Hemmung iſt jedoch nicht näher angegeben, ſo wenig als die übrigen Vorrichtungen, welche Wheatſtone anwendete, um mittelſt dieſes Inſtruments die Zeit zu meſſen, welche eine Piſtolenkugel zu verſchiedenen Flugweiten bei verſchiedener Ladung gebrauchte, und zur Meſſung der Fallzeit bei Fallhöhen von 1 Zoll; er will jedoch ſehr übereinſtimmende Reſultate erhalten haben.

Für den folgenden Apparat gebe ich wörtlich die Beſchreibung, wie ſie in Pogg. Ann. Bd. 65, S. 458 überſetzt iſt. »Eine für gewiſſe Verſuche wichtige Abänderung des Apparats will ich noch erwähnen. Sie beſteht darin, daß man, ſtatt die Kette zu öffnen und wieder zu ſchließen, wie zuvor geſagt, den Elektromagneten mittelſt zwei gleicher und entgegengeſetzter Ströme im Gleichgewicht hält, und darauf den erſten und

den zweiten Strom unterbricht. Der zweite Strom wird durch eine Kugel unterbrochen, die einen Rahmen durchfliegt, der in parallelen, dicht zusammen liegenden Linien mit einem in der Kette befindlichen, sehr feinen Metalldraht überzogen ist. Diese Vorrichtung liefert die Mittel zur Anwendung eines von dem ersten ganz verschiedenen Chronoskops. Zwei Pendel, von denen das eine halbe Secunden schlägt und das andere einen etwas schnellern Gang hat, werden jedes an dem Ende ihres Schwingungsbogens durch einen Elektromagneten gehalten. Wenn die Kugel aus dem Gewehr fliegt, wird das eine Pendel in Freiheit gesetzt und wenn sie den Metalldraht des Rahmens zerreißt, geschieht es mit dem andern. Man zählt alsdann die Schwingungen eines der Pendel, bis seine Bewegung mit der des andern zusammenfällt, und hernach bestimmt man leicht die Zeit, welche die Anfrage der ersten Schwingungen beider Pendel trennte.«

Es ist mir nicht klar, wie dieser letztere Apparat mit dem Elektromagneten mit zwei entgegengesetzten Strömen in Verbindung steht.

Wheatstone hatte übrigens die Zeichnungen zu seinem Apparate im Mai 1841 auch in Paris gezeigt und auch einen für den russischen Artillerie-Hauptmann v. Konstantinoff verfertigen lassen. Letzterer hätte übrigens gerne einen Apparat gehabt, wodurch man die Geschwindigkeiten einer Kugel auf verschiedenen Stellen ihrer Bahn hätte bestimmen können, ohne daß seine Unterredungen mit Wheatstone in dieser Beziehung zum Ziel führten.

In Paris angekommen, wendete sich v. Konstantinoff an Breguet, um eine Maschine nach seinen Ideen für den genannten Zweck zu erhalten. Breguet verfertigte auch eine solche und beschrieb sie in einer in dem Compt. rend. XX. p. 157 abgedruckten Note. Die Maschine ist sehr complicirt und ihre Beschreibung keineswegs in der Absicht abgefaßt, Andern dadurch eine vollkommen klare Einsicht in dieselbe zu geben. Da meines Wissens keine ähnlichen Maschinen gefertigt wurden und die mit dem einen nach St. Petersburg gekommenen Exemplare angestellten Versuche mir ebenfalls nicht bekannt wurden, so mag hier die Bemerkung genügen, daß der Hauptapparat fünf Elektromagnete hat, wovon drei auf einem Wagen sich befinden, der auf einer Schienenbahn vor einer Walze sich bewegt. Zwei dieser Magnete des Wagens tragen Stifte, welche, so lange der Anker angezogen ist, auf der ebenfalls sich bewegenden Walze einen Eindruck machen.

Herr Breguet hatte die Eitelkeit, nachdem er doch im Eingange der Arbeiten Wheatstone's und der Bekanntschaft von Konstantinoff's mit diesem Erwähnung gethan, und nachdem er die zu erfüllenden Bedingungen aufgezählt hatte, zu sagen: Il nous vint naturellement dans

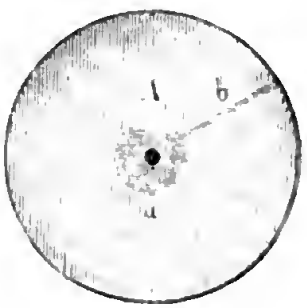
l'idée, d'employer pour cet objet l'électricité, was eben zunächst die Bekanntmachung Wheatston's und eine nicht sehr erquickliche Correspondenz herbeiführte.

Breguet's Veröffentlichung war jedoch durch eine ähnliche von Pouillet hervorgerufen worden, welcher zwar ebenfalls elektrische Ströme, aber auf ganz anderem Wege anwendete.

Pouillet geht nämlich von der Ansicht aus, daß die Größe der Ablenkung einer Magnetnadel durch den elektrischen Strom von der Stärke des letzteren und der Zeit abhänge, während welcher der Strom auf die Nadel wirkt, wenn diese letztere überhaupt nur klein ist. Man kann also aus dem unter verschiedenen Umständen erfolgenden Ausschlage auf die Zeit schließen, wenn immer der gleich starke Strom angewendet wird und das Verhältniß zwischen Zeit und Ausschlag bekannt ist. Pouillet hat das letztere nicht theoretisch entwickelt, sondern durch Versuche auf folgende Weise eine Tabelle construirt.

Auf eine runde Glasplatte *A*, Fig. 334, von 84 Centimeter Durchmesser, welche um eine Axe gedreht werden konnte, wurde rund um die Axe herum ein ziemlich breiter kreisförmiger Stanniolstreifen *a*, von diesem aus aber ein gerader Streifen *b* als Halbmesser geklebt, der nur ein Millimeter Breite hatte. Von den beiden Stromenden ruhte das eine federnd auf den Stanniolstreifen, das andere auf der Platte; wird letztere gedreht, so schließt sich die Kette so oft und auf so lange, als sich der Stanniolstreifen *b* unter der Feder befindet. Man kann nun aus der Umdrehungszeit der Glasscheibe und der Entfernung der zweiten Feder von der Axe die Zeit der Schließung leicht bestimmen, sie war bei Pouillet, wenn die zweite Feder nahe am Rande der Glasplatte auflag und diese in einer Secunde einmal gedreht wurde, $^1/_{2250}$ Secunden.

Fig. 334.

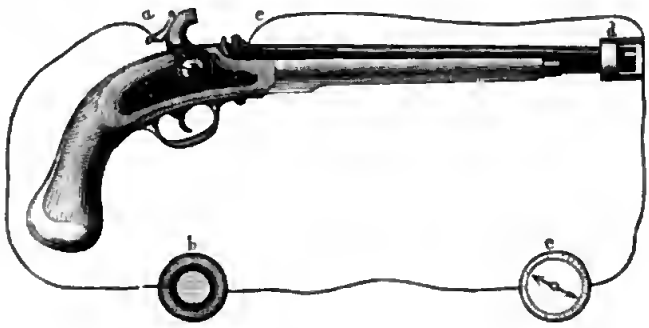


Pouillet fand, daß der Strom einer Säule aus sechs Daniell'schen Elementen, der 40 Meter Kupferdraht von 1 Millimeter Durchmesser zu durchlaufen hatte und während $^1/_{5000}$ Secunde auf die Nadel eines wenig empfindlichen Galvanometers wirkte, eine Ablenkung von 12 Graden bewirkte, welcher Bogen die Nadel in 10 Secunden zurücklegte. Mit einem andern empfindlichern Instrument erhielt Pouillet bei einem Elemente und 20 Meter Kupferdraht in $^1/_{5000}$ Secunde 15° Ablenkung.

Pouillet hat nur Versuche über die Geschwindigkeit der Pulverent-

zündung gemacht, wobei er folgende Vorrichtung benutzte Das Schloß eines Gewehres wurde vom Laufe isolirt, und der Hahn *a*, Fig. 335

Fig. 335.



mit dem einen Pole einer Volta'schen Batterie *b* verbunden. Von dem andern Pole führte ein Draht zum Multiplicator *c* und von diesem über einen Holzring *d* vor der Mündung des Gewehres weg an das Zündhütchen *e*. Die Kette war also geschlossen von dem Augenblick, wo der Hahn aufschlug, bis zu jenem, wo die Kugel den Lauf verließ. Bei der angewendeten Ladung fand Pouillet diese Zeit $= 1/140 - 1/150$ Secunden. Pouillet hoffte, daß sein Instrument noch manche andere Anwendungen gestatten werde, namentlich um die Dauer der sogenannten momentanen Ströme zu bestimmen; es scheint aber nicht, als habe dasselbe bei den Physikern vielen Beifall gefunden. Der Entwurf einer solchen Tabelle, wie sie oben erwähnt wurde, ist jedenfalls sehr umständlich.

Die Priorität der Erfindung des elektrischen Chronoskops nahm auch Siemens für die preußische Artillerie in Anspruch (Pogg. Ann. 66. Bd. S. 435), indem bereits 1838 der ganze Plan ausgearbeitet gewesen sey und nur die Ausführung des Uhrwerks mit conischem Pendel, das $1/1000$ Secunden angiebt, habe die wirklichen Versuche bis 1842 aufgehalten; die Sache selbst sey aber seiner Zeit in öffentlichen Blättern besprochen worden.

An dem Uhrwerk war ein Zeiger so angebracht, daß er durch die Wirkung eines Elektromagneten mit dem im Gange befindlichen Uhrwerk verbunden und durch einen zweiten Elektromagneten wieder ausgelöset wurde, wenn die Kugel das Ziel traf.

Man erkannte bald, daß die Erregung des Magnetismus immer einen großen Bruchtheil der zu messenden Zeit in Anspruch nahm und daß das Gleiche mit den mechanischen Zwischengliedern der Fall sey, welche die Bewegung des Ankers auf den Zeiger überpflanzen sollten. Die ersteren Fehler vermied man, indem man statt des Anziehens eines Ankers, das Abfallen eines solchen, der nur noch schwach vom Magnete getragen wurde, benutzte, um auf den Zeiger zu wirken. Während also vorher die Kugel beim Austritt aus dem Rohr sowohl als beim Ankommen am

Ziel eine Kette zu ſchließen hatte, wurde jetzt in beiden Fällen ein Strom unterbrochen. Man erhielt im Allgemeinen damit im Sommer 1844 befriedigende Reſultate.

Siemens ſelbſt hatte die unmittelbare Wirkung des elektriſchen Funkens vorgeſchlagen, ohne alle mechaniſchen Zwiſchenmittel und führte dieſes ſpäter auch in folgender Weiſe aus. Ein ſtählerner, ſorgfältig gearbeiteter, iſolirter Cylinder, wurde durch ein Uhrwerk mit coniſchem Pendel in gleichmäßig ſchnelle Rotation verſetzt; dieſem möglichſt nahe ſtand eine ebenfalls iſolirte Metallſpitze, welche mit dem innern Belege einer geladenen Leydner Flaſche verbunden war; von dem äußeren Belege führte ein Draht vor der Geſchützmündung vorbei und ebenſo ein vom Cylinder kommender, beide in einem die Schlagweite übertreffenden Abſtande von einander. Die heraustretende Kugel ſetzt dieſe beiden Drähte in Verbindung, die Flaſche wird entladen und der Funke macht auf dem polirten Stahlcylinder einen leicht erkennbaren, ſcharf begränzten Punkt. In beliebiger Entfernung iſt ein zweites Drahtpaar mit einer zweiten Leydner Flaſche aufgeſtellt, und auf gleiche Weiſe mit Cylinder und Stift verbunden. Der Abſtand beider durch die Entladung bewirkte Punkte auf dem Cylinder und ſeine Rotationsgeſchwindigkeit geben die Zwiſchenzeit an. Man kann noch mehrere Drahtpaare anbringen oder in größere Entfernungen Rahmen mit parallelen Drähten, wovon z B. 1, 3, 5 . . . mit dem Cylinder, 2, 4, 6 . . . mit dem äußeren Belege der Flaſche verbunden ſind. Nach jedem Schuſſe braucht man nur die Spitze vor dem Cylinder zu verrücken. Das Inſtrument befindet ſich dabei in einem benachbarten Zimmer.

Für größere Bahnſtrecken glaubt jedoch Siemens ſelbſt das Inſtrument nicht brauchbar, da er es für ſchwierig hält, in dieſem Falle die Drähte gehörig zu iſoliren. Er ſchlägt für dieſen Fall vor, Cylinder und Stift mit einer Inductionsrolle zu verbinden, um durch den Schuß den inducirenden Strom unterbrechen zu laſſen.

Reſultate, die man durch ſolche Verſuche erhalten hätte, habe ich nirgends auffinden können. In Wheatſtone's Chronoſkop erkannte der Uhrmacher und Mechaniker Hipp (Pogg. Ann. 1848, Nr. 8) als Hauptfehler den Umſtand, daß das Uhrwerk erſt beim Beginne der zu meſſenden kleinen Zeit in Gang geſetzt wird, wobei nothwendig eine größere, jedoch für alle Verſuche etwa gleiche Zeit verſtreicht, bis das Werk in gleichförmigen Gang gekommen iſt, eine Zeit, die in manchen Fällen ſelbſt größer ſeyn wird, als die zu meſſende, wenn ſie gleichwohl verſchwindend klein iſt, ſobald man den Gang des Uhrwerks mit einer andern Uhr vergleicht. Hipp änderte nun den Apparat dahin ab, daß er den Zeiger der Uhr nur durch den Elektromagneten mit dem ſchon in Gange befindlichen Uhrwerk

verbinden ließ, so lange die zu messende Zeit dauerte, und Oehlschläger will bei Fallversuchen mit einem solchen Instrumente, welches $^1/_{300}$ Secunden angab, sehr gute Resultate erhalten haben, selbst bei Fallhöhen von 20—1500 Millimetern.

Der Apparat von Hipp ist in Dingler's polyt. Journal 114. Bd. näher beschrieben und abgebildet. Das Echappement des Uhrwerks besteht in einer Feder, deren Spitze die Zähne des Steigrades berührt. Die Axe des vorletzten Rades *b*, Fig. 336 (es ist dieses ein Stirnrad mit gewöhnlichen Zähnen, um in das Getriebe des Steigrads zu greifen, während die beiden Kronräder *e* und *f* spitzige Zähne haben), welches sich in $^1/_{10}$ Secunde dreht, ist durchbohrt, und durch diese Oeffnung ist die Axe *cd* des Zeigers *a* gesteckt, welcher sich vor einem in 100 Theile getheilten Zifferblatte befindet und durch ein auf der Außenseite der Uhr befindliches Zwischenrad *i*, dessen Zähne in ein größeres unter ihm befindliches Rad eingreifen, einen zweiten, in der Zeichnung weggelassenen, Zeiger dreht, der in 10 Secunden umläuft, so daß also 100 Umdrehungen des Zeigers *a* auf 1 Umdrehung des unteren Zeigers kommen. Auf der Axe des Rades *b* sitzt das Kronrad *e* und dreht sich mit ihr; diesem parallel ist das Kronrad *f* unbeweglich an der Platine der Uhr befestigt; zwischen beiden steckt fest auf der Axe *cd* der Zeiger *gh*, und auf die Axe wirkt auf der Seite von *d* der Anker des Elektromagnets, welcher den Zeiger *gh* gegen *f* drückt, so lange der Strom geschlossen ist, wodurch ein Stillstehn des Zeigers *a* bedingt ist; dagegen aber zieht eine Feder den Zeiger *gh* gegen *e*, wenn der Strom nicht geschlossen ist, und während dieser Zeit nimmt er also an der Bewegung Theil.

Fig. 336.

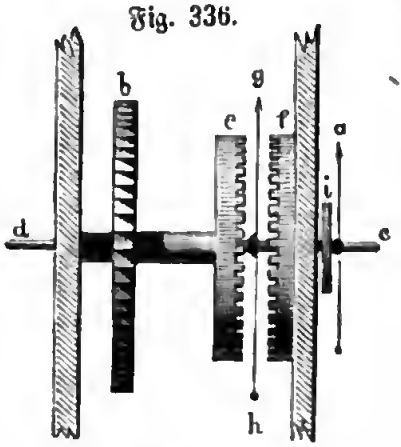


Fig. 337.

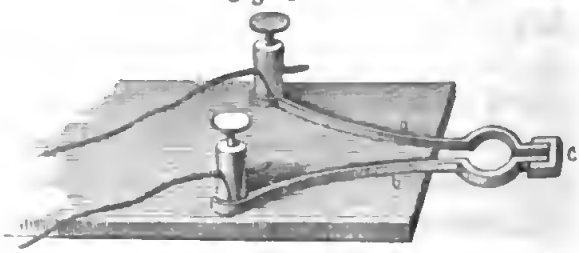
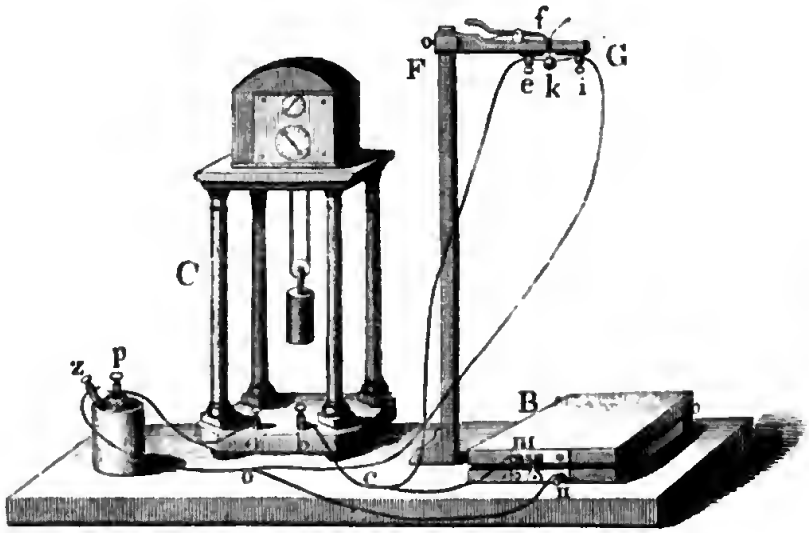


Fig. 338.

Sollen Fallzeiten gemessen werden, so liegt eine metallene Kugel zwischen den beiden federnden und mit Klemmschrauben versehenen metallenen Armen *ab*, Fig. 337, und schließt den Strom; zieht man aber die isolirende Klemme *c* weg, so fällt die Kugel, der Strom ist offen. Die Kugel fällt auf ein Blech *a* Fig. 338, welches

ebenfalls mit einem Pol der Kette verbunden iſt und drückt dieſes gegen die metallene Strebe *b*, wodurch der Strom wieder geſchloſſen wird. Man ſoll, ſelbſt wenn Fallhöhen von 1 Centimeter angewendet werden, keine größeren Abweichungen vom Mittel erhalten als 1 — 2 Tauſendſtel einer Secunde. Die Fig. 339 zeigt ein ſolches Chronoſkop in ſeiner Zu-

Fig. 339.



ſammenſtellung mit Kette und Fallapparat, mit der Abänderung, daß die Kugel *k*, zwiſchen *e* und *i* durch einen Faden gehalten wird, den ein Druck auf *f* auslöſ't. Die Kugel fällt auf die Brettchen *B* und ſtellt durch den Schlag bei *m* und *n* die Verbindung her. *F* iſt ein getheilter Stab. Der Preis eines ſolchen Chronometers nebſt Fallapparat iſt von Herrn Hipp in Reutlingen auf 88 fl. geſtellt. Bemerkt muß übrigens werden, daß, auch in dem oben angeführten Apparate der preußiſchen Artillerie (Poggend. Ann. 1846) das Uhrwerk ſchon vorher im Gange war, und der Zeiger nur durch die Wirkung des Stromes mit demſelben verbunden wurde.

Mit der Conſtruction ſolcher Chronoſkope beſchäftigte ſich nach dem Journal de Liège vom 8. Mai 1849 auch Profeſſor Gläſener zu Lüttich. Auch er wendete ein ſchon im Gange befindliches Uhrwerk an; um jedoch die Fehlerquelle zu vermeiden, welche von der Zeit herrührt, die zur Erregung des Magnetismus in Eiſen erforderlich iſt, wählte er nur die Unterbrechung der Ströme. Sein Uhrwerk trieb nämlich um eine horizontale Axe eine mit Lampenruß geſchwärzte und getheilte Trommel von Metall, über der eine Anzahl ſtählerner Spitzen in $\frac{1}{2}$ Millimeter Entfernung ſich befanden, die an Ankern befeſtigt waren, von denen jeder durch einen eigenen Elektromagneten angezogen wurde. Durch eine Meſſingfeder war

dieſe Anziehung ſo regulirt, daß die geringſte Stromverminderung das Abfallen des Ankers bewirkte. Wurde nun durch das Aufſchlagen des Hahns der Strom der erſten, durch das Austreten der Kugel jener der zweiten, in einiger Entfernung jener der dritten Spitze u. ſ. w. unterbrochen, ſo ließen ſich aus der Stelle, wo die Eindrücke der Stahlſpitzen begannen, die Zeiten angeben, welche zu den einzelnen Wegen erforderlich waren. Gläſener hatte ſein Inſtrument nur auf $^1/_{100}$ Secunden getheilt, durch Vergrößerung der Trommel und ihrer Geſchwindigkeit könnte man wohl auch kleinere Theile erhalten.

308 **Geſchwindigkeit der Elektricität.** Die unter der Leitung Walker's angeſtellten Telegraphenbeobachtungen zur Beſtimmung der Längenunterſchiede zwiſchen entfernten Stationen in den Vereinigten Staaten führten zu einem ſehr unerwarteten Reſultate; um nämlich die gehörige Uebereinſtimmung zwiſchen den verſchiedenen Beobachtungen hervorzubringen, mußte eine kleine Correction eingeführt werden, die von der jedesmaligen Entfernung der Telegraphenſtation abhängig war. Es bot ſich hierfür keine andere Erklärung dar, als die von Walker gemachte Annahme (Proc. Am. phil. Soc. V. 76), daß die zur Fortpflanzung der Signale zwiſchen entfernten Stationen nöthige Zeit bedeutend größer, und folglich die Geſchwindigkeit des elektriſchen Stromes oder vielmehr die Geſchwindigkeit der Stromverbreitung, bedeutend geringer iſt, als man bis dahin geglaubt hatte.

Nach den in der Nacht vom 23. Januar 1849 zwiſchen Cambridge und Waſhington angeſtellten Verſuchen berechnete Walker, daß ſich der elektriſche Strom mit einer Geſchwindigkeit von 18,690 engliſchen Meilen in der Secunde fortpflanze.

Eine zweite am 31. October 1849 angeſtellte Verſuchsreihe ergab eine Geſchwindigkeit von 16,000 engliſchen Meilen in der Secunde.

Am 4. Februar 1850 wurde eine dritte Verſuchsreihe vorgenommen, an welcher ſich auch B. A. Gould jun. betheiligte, welcher darüber ausführlich in dem American Journal (2nd series, vol. XI. p. 67, 153) berichtet (Krönig's Journal für Phyſik des Auslandes, Bd. III. p. 1). Die auf den verſchiedenen Stationen aufgeſtellten Telegraphen ſind Morſe'ſche. Die Einrichtung iſt ſo getroffen, daß in der Ruhelage alle Schlüſſel geſchloſſen ſind und alſo ein Strom ununterbrochen in den Leitungsdrähten circulirt.

Nehmen wir nun an, daß am einen Ende einer langen Leitung durch das Pendel einer Uhr bei jeder Schwingung für einen Augenblick der Strom unterbrochen und unmittelbar darauf wieder geſchloſſen wird, ſo

werden die Aufzeichnungen der einzelnen Stationen das Anſehen von Fig. 340 haben.

Fig. 340.

Während nun an einer Endſtation der Telegraphenleitung die Uhr aufgeſtellt iſt, welche in der angegebenen Weiſe ihre Aufzeichnung auf allen Stationen macht, wird auf der andern Endſtation mittelſt des Schlüſſels durch Unterbrechung der Leitung von Zeit zu Zeit ein willkürliches Signal gegeben. Durch dieſes willkürliche Unterbrechen des Stromes wird nun auf allen Stationen in dem entſprechenden Secundenſtrich eine Unterbrechung entſtehen, welche wir die Signalpauſe nennen wollen, während der Zwiſchenraum zwiſchen je zwei Secundenſtrichen die Uhrpauſe genannt werden ſoll.

Bei den Verſuchen vom 4. Februar war die Uhr in Waſhington aufgeſtellt, während die willkürlichen Unterbrechungen in St. Louis gemacht wurden

Um leichter auffinden zu können, welches die entſprechenden Secundenſtriche der verſchiedenen Stationen ſind, war die Einrichtung getroffen, daß zu Anfang jeder Minute eine Uhrpauſe ausblieb.

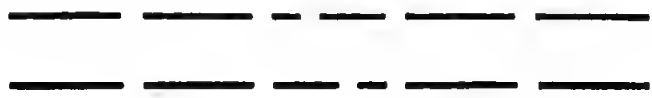
Wegen des ungleichen Ganges der verſchiedenen Telegraphen fällt nun freilich die Länge der Secundenſtriche, der Uhr- und der Signalpauſen nicht auf allen Stationen ganz gleich aus, es iſt jedoch leicht, ſie auf gleiche Länge zu reduciren.

Es fand ſich nun, daß die Signalpauſe auf den verſchiedenen Stationen nicht an der gleichen Stelle des entſprechenden Secundenſtriches markirt wurde, in St. Louis lag die Signalpauſe näher am Anfang, in Waſhington lag ſie näher am Ende des Striches, welcher der gleichen Secunde angehört, wie dies Fig. 341 angedeutet iſt.

Fig. 341.

St L

W



Aus der Differenz in der Lage der Signalpauſen läßt ſich nun auf die Geſchwindigkeit der Stromverbreitung ſchließen.

Es werde in einem beſtimmten Moment, etwa in der Mitte einer Secunde, in St. Louis ein willkürliches Signal gegeben, ſo iſt in dieſem Augenblick noch nicht die Hälfte des entſprechenden Secundenſtriches angekommen, die Signalpauſe wird alſo in St. Louis vor der Mitte des

Secundenſtriches aufgezeichnet. In Waſhington dagegen wird zwar in der Hälfte der Secunde auch die Mitte des Secundenſtriches gemacht, allein die von St. Louis kommende Signalpauſe wird erſt ſpäter notirt, und ſo ergiebt ſich denn, daß die Differenz von der Mitte der Signalpauſe in St. Louis bis zur Mitte der entſprechenden Signalpauſe in Waſhington das Doppelte der Zeit iſt, welche der elektriſche Strom braucht, um ſich von der einen Endſtation bis zur andern fortzupflanzen.

Daſſelbe gilt für die Differenzen der Signalpauſen der Zwiſchenſtationen.

Die Differenz der Signalpauſen wurde natürlich nicht aus einer, ſondern als Mittel einer ganzen Reihe von Beobachtungen beſtimmt.

Die Drahtlängen zwiſchen den verſchiedenen Stationen waren folgende (nach engliſchen Meilen):

Waſhington				
288	Pittsburg			
622	334	Cincinnati		
747	459	125	Louisville	
1045	757	423	289	St. Louis.

Als die Signale in St. Louis gegeben wurden, ergaben ſich folgende Differenzen zwiſchen den Aufzeichnungen von Waſhington und den anderen Stationen:

Aufzeichnung.	Zahl der Beobachtungen.	Intervall.	Geſchwindigkeit.
Pittsburg	37	0,0373″	15 442 Meilen
Cincinnati	46	0,0844	14 748
Louisville	46	0,1163	12 846
St. Louis	36	0,1108	13 484

Ebenſo wurden die Differenzen der Signalpauſen beſtimmt, als die willkürliche Unterbrechung an den verſchiedenen Zwiſchenſtationen gemacht wurden.

Als Mittel aus ſämmtlichen an dieſem Tage gemachten Beobachtungen ergab ſich die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des elektriſchen Stromes gleich 14900 engliſchen Meilen.

In der folgenden Tabelle iſt dies Reſultat mit den andern nach der gleichen Methode an verſchiedenen Tagen erhaltenen zuſammengeſtellt. Waſhington war ſtets die eine Endſtation.

Datum.	Endſtation.	Geſchwindigkeit.
23. Januar 1849 . . .	Cambridge	18000
31. October 1849 . . .	Cincinnati	18330
4. Februar 1850 . . .	St. Louis	14900
5. Februar 1850 . . .	Charleston	16856

Als Mittelwerth ergiebt ſich daraus eine Geſchwindigkeit von 15,890 engliſchen Meilen in der Sekunde.

Nach Wheatſtone's ſinnreichem Verſuch iſt die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Elektricität 288,000 engliſche Meilen in der Secunde, alſo ungefähr 18mal größer, als nach den amerikaniſchen Verſuchen.

Wheatſtone's Leitung war durch Kupferdrähte gebildet, welche 1,7^{mm} Durchmeſſer hatten, während zur amerikaniſchen Telegraphenleitung Eiſendraht von 3^{mm} Durchmeſſer verwendet worden war. Der ſpecifiſche Leitungswiderſtand des Eiſens iſt 6mal ſo groß als der des Kupfers, dagegen hatten die amerikaniſchen Drähte einen ungefähr dreimal größeren Querſchnitt als jene; bei gleicher Länge war daher der Leitungswiderſtand der amerikaniſchen Leitung nahezu doppelt ſo groß, als beim Wheatſtone'ſchen Verſuch; aus der Ungleichheit des Leitungswiderſtandes läßt ſich alſo der bedeutende Unterſchied der Wheatſtone'ſchen und Walker'ſchen Reſultate nicht zurückführen, man muß alſo wohl annehmen, daß dieſer Unterſchied weſentlich dadurch bedingt iſt, daß das eine Mal mit Reibungselektricität experimentirt wurde, während das andere Mal ein galvaniſcher Strom zur Anwendung kam.

Als durch Einſchaltung einer weiteren galvaniſchen Batterie die elektromotoriſche Kraft vergrößert wurde, ergab ſich kein merklicher Zuwachs in der Geſchwindigkeit; daraus folgt jedoch noch nicht, daß die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Elektricität von der Stromſtärke unabhängig ſey.

Mit dieſen Reſultaten, welche unter den bis jetzt gemachten Beſtimmungen über die Geſchwindigkeit des galvaniſchen Stromes am meiſten Zutrauen zu verdienen ſcheinen, ſtimmen die Reſultate nicht überein, welche Fizeau und Gounelle in den Comptes rendus (t. XXX. p. 439, Pogg. Ann. 80. Bd. p. 158) über dieſen Gegenſtand veröffentlichen. Die Beſchreibung der Methode iſt, wie Gould mit Recht bemerkt, ſehr dunkel, und die Data, aus denen die Folgerungen abgeleitet wurden, ſind nicht vollſtändig mitgetheilt. Den genannten franzöſiſchen Phyſikern zufolge ſoll ſich die Elektricität in einem Eiſendraht von 4^{mm} Durchmeſſer mit einer Geſchwindigkeit von 63,200 Meilen und in einem 2½^{mm} dicken

Kupferdraht mit einer Geschwindigkeit von 110,000 Meilen fortpflanzen. Die Spannung der Elektricität soll keinen Einfluß auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben haben und sie soll sich nicht mit dem Querschnitt des Leitungsdrahtes, sondern nur mit dem Material desselben ändern, ohne jedoch dem specifischen Leitungsvermögen proportional zu seyn.

Nach Mitchel (Pogg. Ann. 80. Bd. p. 161) ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität 28,500 englische Meilen in der Secunde. Die Beschreibung der Beobachtungsmethode ist höchst undeutlich.

Die nächste Zukunft wird uns wohl über diesen eben so wichtigen als interessanten Gegenstand neues Material liefern.

309 **Unipolare Induction.** Es ist eine bekannte Thatsache, daß in allen Fällen, wo durch einen galvanischen Strom, welcher einen geschlossenen Leiter in einer bestimmten Richtung durchläuft, die Rotation eines Magneten bewirkt wird, — umgekehrt, — wenn der Leiter nicht durchströmt ist, man aber den Magneten in derselben Weise durch mechanische Mittel dreht, daß alsdann in dem Leiter ein Strom von entgegengesetzter Richtung inducirt wird. Weber hat nun diese Umkehrung auch für den Fall nachgewiesen, daß die Längenaxe des Magneten selbst die Rotationsaxe ist und daß ein Stück dieser Axe zugleich einen Theil des geschlossenen Leiters ausmacht, wie es bei demjenigen Rotationsversuch der Fall ist, welcher in Figur 227 meines Lehrbuchs der Physik (3. Aufl. 2. Bd. S. 242) dargestellt ist und für welchen Frick in seiner »Physikalischen Technik« Seite 354 eine sehr zweckmäßige Form angiebt.

Der Apparat, welchen Weber anwendet, um durch einen um seine Axe rotirenden Magneten eine Induction hervorzubringen, welche er mit dem Namen der unipolaren Induction bezeichnet, ist Fig. 342 dargestellt. Ein cylindrischer Stahlmagnet, *m*, war an beiden Enden mit Spitzen versehen, welche in kleine Vertiefungen der eisernen Klammern *a* und *b* eingesetzt waren, wie man dies Figur 343 deutlicher sieht. Diese Klammern waren auf das Brett aufgeschraubt, welches den ganzen Apparat trug. — In diese Klammern konnte man zwei große Magnete mit denjenigen Enden einschieben, welche den entgegenstehenden Polen des Magneten *m* entgegengesetzt waren und dadurch den Magnetismus des Stahlcylinders *m* bedeutend erhöhen.

Die Umdrehung des Magneten *m* um seine Axe wurde durch ein Getriebe bewerkstelligt, dessen Einrichtung sich aus der Fig. 342 ergiebt. Bei jeder Umdrehung der Kurbel machte der Stahlcylinder $8^4/_7$ Umdrehungen.

Ungefähr auf der Mitte des Stahlcylinders *m* war eine Messingscheibe *s* befestigt, deren unteres Ende in Quecksilber eintauchte, welches sich in dem Gefäße *g* befand.

Wurde nun das eine Drahtende eines Multiplicators in das Quecksilbergefäß g getaucht, das andere an der Klammer l befestigt, so wurde die

Fig. 342.

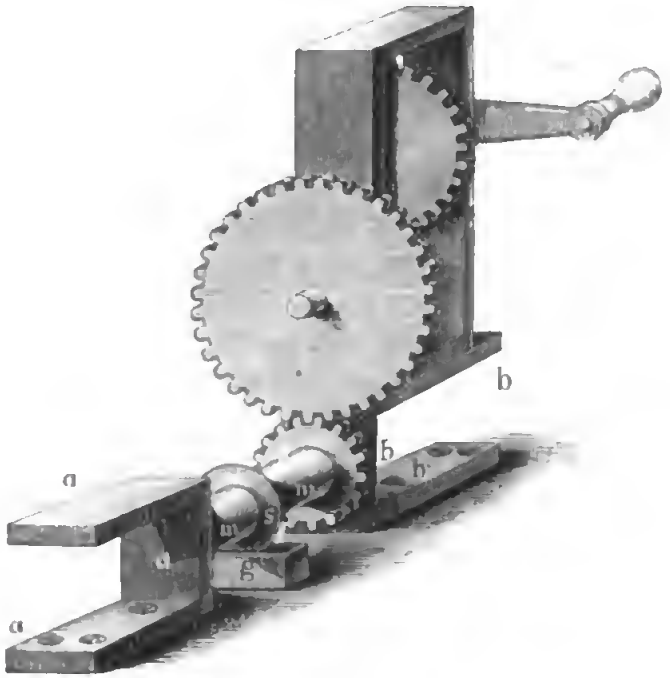


Fig 343

Multiplicatornadel abgelenkt, sobald man die Kurbel zu drehen begann.

Als Multiplicator wurde ein transportabeles Magnetometer angewandt, um dessen Magnetstab der Multiplicatordraht in 2000 Windungen herumgeführt war. Um die Kraft zu vermindern, mit welcher der Magnetometerstab im magnetischen Meridian zurückgehalten wird, wurde ein 25pfündiger Magnetstab etwa 2 Meter südlich vom Magnetometer so aufgestellt, daß sein Südende nach Norden kehrte; dadurch wurde natürlich die Empfindlichkeit des strommessenden Apparates sehr erhöht.

Die theoretische Betrachtung, durch welche Weber nachweist, daß in diesem Fall eine Inducation stattfinden müsse und durch welche auch die Benennung »unipolare Induction« gerechtfertigt wird, ist folgende:

Man nimmt die Existenz zweier magnetischer Fluida an, eines nördli-

chen und eines südlichen, welche in den Molekülen eines Magneten in gleicher Menge vorhanden, aber von einander geschieden sind. Wird ein solcher Magnet bewegt, so wird in einem benachbarten Leiter ein galvanischer Strom nach bekannten Gesetzen inducirt. Dieser Strom ist so beschaffen, daß er in zwei Ströme zerlegt werden kann, von denen der eine durch die Bewegung des nördlichen Fluidums, der andere durch die Bewegung des südlichen Fluidums entsteht. Diese Induction zweier Ströme durch die Bewegung beider magnetischer Fluida heiße im Allgemeinen eine bipolare Induction. Es ist aber auch eine Induction denkbar, wobei entweder bloß ein magnetisches Fluidum bewegt wird und also der vom andern Fluidum inducirte Strom stets Null bleibt, oder das andere Fluidum bald positive, bald negative Ströme inducirt, deren Summe Null ist, so daß auch hier bloß derjenige Strom bleibt, welcher vom ersten Fluidum inducirt wird. Diese Induction eines Stromes durch die Bewegung eines magnetischen Fluidums heiße eine unipolare Induction.

Man denke sich einen Leiter, welcher die Gestalt eines horizontalen Kreises oder Ringes hat und bewege in der verticalen Axe dieses Ringes einen bloß nördliches Fluidum enthaltenden Körper abwärts, so wird im Ring ein Strom in der Richtung des Pfeils p, Fig. 344, inducirt. Während sich das nordmagnetische Theilchen von oben her der Ringebene nähert, nimmt die Stärke des inducirten Stromes zu, während es sich unterhalb von der Ringebene entfernt, nimmt die Stromstärke ab, ohne daß eine Veränderung in der Stromesrichtung stattfände.

Wird nun der, bloß nördliches Fluidum enthaltende Körper, nachdem er abwärts durch den Ring hindurchgegangen ist, außerhalb des Ringes wieder hinaufgeführt, beschreibt er also eine Bahn, ungefähr wie sie durch

Fig. 344.

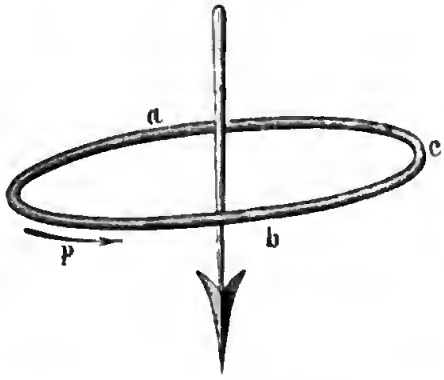
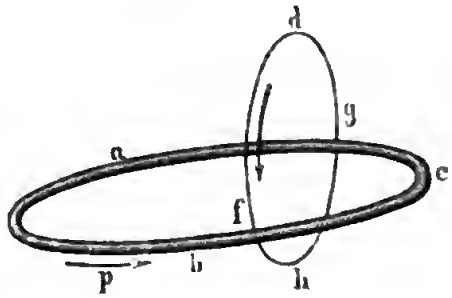


Fig. 345.



den Kreis $dfhg$, Fig. 345, dargestellt ist, so wird er stets einen Strom in gleicher Richtung induciren.

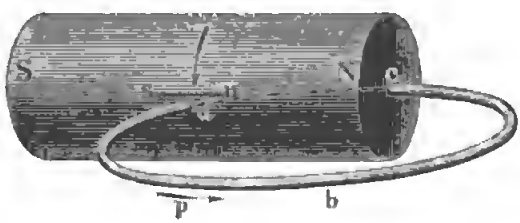
Enthielte der im Kreis $d f h g$ bewegte Körper nur südliches Fluidum, so würde der im horizontalen Leiter inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung von der in Fig. 345 angedeuteten seyn.

In der eben angedeuteten Weise können wir freilich keine Induction zu Wege bringen, weil wir keinen Körper darstellen können, in welchem bloß nördliches oder bloß südliches Fluidum vorhanden wäre. — Wenn es aber auch keinen Körper giebt, welcher nur das eine Fluidum enthielte, so sind doch in einem magnetischen Körper die magnetischen Flüssigkeiten räumlich getrennt, und wir können uns ja die Wirkungen eines Magneten nach Außen dadurch hervorgebracht denken, daß das nördliche Fluidum im einen, das südliche im andern Pol des Magnetstabes gesammelt ist. Wir können es nun so einrichten, daß der eine Pol eines Magnetstabes, etwa der Nordpol in der Fig. 345 angedeuteten Weise, halb durch den Ring hindurch, halb um ihn herumgeht, während der andere Pol ganz außerhalb des Schließungsbogens bleibt.

Um ein derartiges Arrangement herzurichten, muß man einen Theil des Magneten selbst in den Schließungsbogen einschalten, wie es der Fall ist, wenn man das eine Ende eines Leitungsdrahtes in der Mitte des einen Poles, das andere Ende an der Seite des Magnetstabes ansetzt, wie es Fig. 346 angedeutet ist, wo $N S$ einen cylindrischen Magnetstab und $a b c$ einen Leitungsdraht darstellt, zwischen dessen Enden ein Stück des Magneten eingeschaltet ist.

Man sieht nun leicht ein, daß, wenn bei dieser Anordnung der Magnet um seine Axe rotirt, die einzelnen südmagnetischen Partikelchen in S stets außerhalb des geschlossenen Leiters bleiben, daß sie also keinen bemerkbaren Inductionsstrom in demselben bewirken können, weil der Strom, den sie auf der einen Hälfte ihrer Bahn induciren, demjenigen gleich und entgegengesetzt ist, welchen sie induciren, während sie die andere Hälfte ihrer Bahn durchlaufen. Anders verhält es sich mit den nordmagnetischen Partikelchen in N. Sie bewegen sich in Beziehung auf den Schließungsbogen gerade so, wie es in dem Fig. 345 dargestellten Falle angenommen wurde; die nordmagnetischen Partikelchen in N induciren also in der Richtung des Pfeiles p einen continuirlichen Strom, wenn der Magnet in der angegebenen Richtung rotirt.

Fig. 346.



Hier inducirt also der Nordpol einen Strom, während der Südpol des

Magneten keine entsprechende Induction bewirken kann, daher der Name der unipolaren Induction.

Wir haben hier freilich angenommen, daß alles nordmagnetische Fluidum in N, alles südliche in S concentrirt sey, was in der That nicht der Fall ist, indem sich in der ganzen Länge des Magnetstabes noch magnetische Partikeln vorfinden. Was aber für den ganzen Magneten gesagt wurde, gilt ebenso für die einzelnen magnetischen Partikelchen. Denken wir uns ein magnetisches Partikelchen $n\,s$, dessen Mittelpunkt bei seiner Rotation gerade den Punkt passirt, an welchem der Draht den Stahlcylinder berührt, so wird während der Rotation des Cylinders n durch den Ring hindurchgehn, s aber außerhalb desselben bleiben, also blos n einen continuirlichen, stets gleichgerichteten Strom induciren; so giebt es für jeden Punkt des Schließungsbogens innerhalb des Stahlcylinders eine Reihe von magnetischen Partikelchen, welche bei der Rotation mit ihrem einen Pole durch den Schließungsbogen hindurchgehn, mit dem andern aber blos außerhalb desselben sich bewegen.

Man übersieht nun auch leicht, daß der Apparat Fig. 342 die Ausführung der Fig. 346 schematisch dargestellten Anordnung ist.

Aus den oben angestellten Betrachtungen ergeben sich nun in Beziehung auf den unipolaren Inductionsstrom noch folgende Gesetze.

Die Induction ist unabhängig von der Länge des Cylinders, vorausgesetzt, daß alle seine Theilchen gleich stark magnetisch sind, sie ist aber unter sonst gleichen Umständen dem Querschnitt des Cylinders proportional.

In den oben beschriebenen Apparat wurde ein Stahlcylinder von 269^{mm} Länge und 23^{mm} Durchmesser eingeschaltet, dessen magnetisches Moment nach absolutem Maaß 65,000,000 beträgt. Seine Pole wurden durch magnetische Vorlagen verstärkt. Als nun die Kurbel so gedreht wurde, daß der Magnet 60 Umdrehungen in 7 Secunden machte, wurde der Magnetometerstab so aus dem magnetischen Meridian abgelenkt, daß seiner neuen Gleichgewichtslage der Theilstrich 622,5 der Magnetometerscale entsprach. Nun wurde mit gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung gedreht und nun entsprach der Theilstrich 736,5 der Gleichgewichtslage. Die durch den unipolaren Inductionsstrom hervorgebrachte Ablenkung aus dem magnetischen Meridian betrug also in diesem Falle

$$\frac{736{,}5 - 622{,}5}{2} = 57$$

Theilstriche. Als halb so schnell gedreht wurde, war auch die durch den unipolaren Inductionsstrom hervorgebrachte Ablenkung nur halb so groß.

Der Versuch bestätigte das in der Weber'schen Theorie enthaltene Gesetz in Beziehung auf die Richtung des unipolar inducirten Stromes:

auch die Stärke deſſelben ſtimmte, ſo weit es ſich bei ſolchen Verſuchen erwarten läßt, mit den theoretiſchen Beſtimmungen Weber's überein.

Die Erſcheinung der unipolaren Induction erhält eine beſondere Wichtigkeit bei Beantwortung der Frage, ob den beiden magnetiſchen Fluidis eine phyſiſche Exiſtenz zugeſchrieben werden müſſe, oder ob überall ſtatt ihrer die Annahme fortdauernder galvaniſcher Ströme im Innern der Magnete zuläſſig ſey. — Zur Erklärung der unipolaren Induction ſcheint die letztere Annahme nicht zu genügen, während die Annahme von der phyſiſchen Exiſtenz zweier magnetiſcher Fluida nicht allein jene Erklärung zu geben ſcheint, ſondern auch zuerſt auf die Betrachtung dieſer Erſcheinung geführt hat. Ebenſo läßt ſich der Rotationsverſuch, durch deſſen Umkehrung die unipolare Induction erhalten wird, ſehr wohl durch die Annahme magnetiſcher räumlich getrennter Fluida, aber nicht durch die Ampériſchen Ströme erklären. (Gauß und Weber, Reſultate des magnetiſchen Vereins im Jahre 1839, Seite 63.)

Berichtigungen.

Seite 46 Zeile 10 v. U. ist zu lesen Polsson's statt Prisson's.
» 74 » 2 v. U. l. schärfer statt schlefer.
» 123 » 15 v. O. l. kennt statt kommt.
» 201 Die Figur 75 ist umzukehren.
» 238 Die ganze Stelle von »Hier mögte sich aber u. s. w.« Zeile 8 v. O. bis »lasse ich freilich dahin gestellt sein« Seite 239 Zeile 17 v. O. ist ganz wegzustreichen.

Von dem Wunsche erfüllt, wo möglich eine Ausgleichung zwischen den streitenden Theorien anzubahnen, habe ich mir hier eine Uebereilung zu schulden kommen lassen, indem ich es ganz übersehen habe, daß das elektrische Verhalten des Zinks gegen Wasser und verdünnte Schwefelsäure längst ermittelt ist. Es ist eine bekannte Thatsache, daß Zink in Berührung mit Wasser und verdünnter Schwefelsäure negativ elektrisch wird, daß also das hervorragende Ende eines in Wasser oder verdünnte Schwefelsäure eingetauchten Zinkstücks freie negative Elektricität zeigen muß.

Ich hätte dies um so eher wissen können, als dieser Gegenstand in meinem Lehrbuch der Physik ausführlich besprochen wird.

Durch diese Thatsache fällt nun freilich der ganze Ausgleichungsversuch von Seite 238 in sich zusammen.

Die Contacttheorie nimmt bei der Theorie der Säule das elektromotorische Verhalten der Metalle gegen Flüssigkeiten (Elektrolyte) als eine Thatsache an, von welcher meines Wissens bis jetzt noch keine weitere Begründung versucht worden ist.

Die Anhänger der chemischen Theorie dagegen haben die elektrische Erregung der verschiedenen Metalle bei Berührung mit Flüssigkeiten aus der chemischen Verwandtschaft der Metalle zu den Bestandtheilen der Elektrolyte herzuleiten versucht, wie wir es S. 230 u. f. gesehen haben, wobei sie sich aber zu der Annahme genöthigt sahen, daß eine ähnliche Polarisation, wie sie in den Wassertheilchen zwischen den Elektroden stattfindet, sich auch in den Theilchen eines in die Flüssigkeit eingetauchten Metallstückes fortsetzt, so daß sich das Metall gewissermaßen in Schichten von abwechselnd positiven und negativen Molekeln abtheilt. Es dürfte jedoch schwer halten, einen experimentellen Beweis für die Existenz eines solchen Polarisationszustandes in den Metallen beizubringen.

Seite 251 Zeile 1 v. O. lese 237mm anstatt 233mm.
» 252 » 12 v. O. l. 2,2083 statt 22,083.
» — » 13 v. O. l. 2,21 statt 22,1
» 292 » 13 v. U. l. $a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} + \frac{s}{r}$, statt $a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} = \frac{s}{r}$,
» 306 » 7 v. O. soll heißen $w = s\frac{l.0{,}785}{\pi r^2} = s\frac{l}{d^2}$.
» 423 » 8 v. U. l. Magnetelektromotor statt Magnetelektrometer.
» 511—514 Hier haben sich in die Zahlenwerthe mehrere so störende Fehler eingeschlichen, daß für diese beiden Blätter ein Carton gedruckt werden mußte.
» 517 Den Factoren von d^2 in den beiden Werthen von P ist ein o anzuhängen. In Folge dessen heißt auch auf
» 518 der Werth von P:

$$P = \frac{12558}{l} d^{3/2} \operatorname{tang} \frac{M}{1720\, ld^2}$$

» 548 » 16 v. U. soll heißen pr. Secunde anstatt pr. Stunde.
» 672 Die beiden Zeilen 5 und 4 v. U. sollen heißen:

Winkel $A\alpha\alpha' = \Theta'$
Winkel $A\alpha n = \Theta$.

» 674 » 16 u. 17 v. U. sollen heißen:

$\cos. \varphi = \cos. \Theta$
$\cos. \Theta' = -\sin. \Theta$.

» — » 10 v. U. ist zu setzen $\cos. \Theta' = \sin. \Theta$ für $\cos. \Theta' = -\sin. \Theta$.

Im Verlage von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig ist erschienen:

Der elektromagnetische Telegraph

in den einzelnen Stadien seiner Entwicklung und in seiner gegenwärtigen Ausbildung und Anwendung, nebst einer Einleitung über die optische und akustische Telegraphie und einem Anhange über die elektrischen Uhren. Für Freunde der Physik, Telegraphen-Beamten, Ingenieure, Techniker und Mechaniker bearbeitet von Dr. H. Schellen, Oberlehrer an der Realschule zu Düsseldorf. gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 2 Thlr.

Mit 166 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Die wunderbaren und erstaunenswerthen Leistungen der elektrischen Telegraphen sind bereits so vielfach bekannt und so tief in alle Schichten des gebildeten Publikums eingedrungen, daß eine klare und ausführliche Beschreibung dieser Apparate, besonders derjenigen, welche gegenwärtig in den verschiedenen Ländern im Betriebe sind, längst ein allgemein gefühltes Bedürfniß geworden ist, und dieses um so mehr, als die Erfinder dieselben mit einem fast undurchdringlichen Schleier des Geheimnisses umgeben haben. Diesem Bedürfnisse wird durch die vorliegende Schrift auf das Vollständigste abgeholfen. Sie enthält nämlich außer einer übersichtlichen Geschichte der optischen und akustischen Telegraphie und einer gedrängten Darstellung der früheren elektro-telegraphischen Versuche eine durch viele Abbildungen bis in das kleinste Detail erläuterte Beschreibung der gegenwärtig in Amerika, England, Deutschland u. s. w. arbeitenden Apparate, von denen besonders die Nadeltelegraphen von Wheatstone, Bain und Ekling, die genialen Zeigerapparate von Siemens-Halske, von Dr. Kramer und Stöhrer, die Drucktelegraphen von Morse in der früheren und neuesten Construction, der Doppelstift-Apparat von Stöhrer, die schönen Ausschalte- und Wechsel-Vorrichtungen nebst dem Glockenapparat von Halske, ihre Verbindung mit den Druck- und Zeiger-Apparaten, endlich die verschiedenen Uebertrager oder Relais hervorzuheben sind. Die Batterie, die verschiedenen Arten der Leitung, der Einfluß der Gewitter, die Blitzableiter, die Ausbreitung der Telegraphen-Linien u. s. w. werden in besondern Abschnitten ausführlich besprochen. Den Schluß des Ganzen macht die Beschreibung der verschiedenen Systeme der elektrischen Uhren.

Grundriß der Physik und Meteorologie.

Für Lyceen, Gymnasien, Gewerbe- und Realschulen, sowie zum Selbstunterrichte von Dr. Joh. Müller, Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau. Mit gegen 600 in den Text eingedruckten Holzschnitten. gr. 8. Fein Velinpapier. geh. 2 Thlr.

Zweite vermehrte und verbesserte Auflage.

Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik hat in drei sich rasch folgenden Auflagen, für den Unterricht auf höheren Lehranstalten und für das tiefere Selbststudium, so ungetheilten Beifall, so weite Verbreitung gefunden, daß der Herr Verfasser von vielen Seiten angegangen wurde, einen kürzern Grundriß für den Gebrauch an Lyceen, Gymnasien, Gewerbe- und Realschulen, wie auch für den ersten Selbstunterricht, folgen zu lassen; dieser wird hiermit dem Publikum in zweiter Auflage übergeben.

Bei der Bearbeitung ist der Verfasser dem Gange seines großen Lehrbuchs gefolgt und hat einen bedeutenden Theil der trefflichen Abbildungen desselben in den Grundriß hinübergenommen. Er ging von der Ansicht aus, daß die Grundgesetze der Wissenschaft auch in den Schulanstalten gründlich und klar vorgetragen werden müssen, daß ihre zu große Abkürzung in der Darstellung nur nachtheilig wirken kann, wogegen dieser Unterricht nicht mit zu vielen Einzelnheiten und Entwickelungen überladen werden dürfe.

Wir empfehlen das Werk den Schulbehörden und Allen denen, welchen ein kurzer Ueberblick der Physik von Wichtigkeit ist; für ein tieferes mehr ins Einzelne gehendes Selbststudium muß auf das größere Lehrbuch verwiesen werden; aber der Grundriß wird auch in dieser Hinsicht jüngeren Pharmaceuten, Forstmännern, Landwirthen, Gewerbetreibenden ꝛc. genügen.

Im Verlage von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig

Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie.

Mit 1232 in den Text eingedruckten Holzschnitten und 2 farbigen Kupfertafeln. 2 Bände, jeder von 40 bis 45 Bogen gr. 8. Satinirtes Velinpap. geh. Subscriptionspreis: 6 Thlr. 20 Sgr.

Dritte umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Wir zeigen hierdurch eine dritte, sorgsam bearbeitete und vermehrte Auflage dieses trefflichen Buches an. Verfasser und Verleger haben sich bestrebt, auf die neuen Auflage die größeste Sorgfalt zu widmen.

So rasche und ehrende Anerkennung eines Werkes wird schon seine vielfache Empfehlung begründen; es darf aber hinzugefügt werden, daß Müller's Lehrbuch der Physik auf den meisten deutschen Universitäten und höheren technischen Instituten den Vorträgen zum Grunde gelegt oder den Zuhörern zum Nachlesen empfohlen wird, und daß es die lebhafteste Theilnahme und Anerkennung unter denen gefunden hat, welchen das Selbststudium der Physik, als Hülfsmittel unentbehrlich geworden ist. — Der Mediziner, der Chemiker, der Pharmaceut, der Techniker, der Agronom, der Forst-, Berg- und Hüttenmann, der Architekt etc., jeder der physikalischen Kenntnisse, jeder Gebildete kann ihrer nicht mehr entbehren.

Der Einfluß, ja die Macht, welche die Naturwissenschaften im Allgemeinen in unseren Tagen erlangt haben, die Unabweisbarkeit des Studiums der Physik im Besondern, stellt um so dringender das Bedürfniß heraus, daß diese durch zweckmäßige Lehrbücher einem größeren Kreise möglichst zugänglich gemacht werde; von diesem Standpunkte ging der Verfasser bei der Bearbeitung des Werkes aus und es gelang ihm, die Lehren der Physik in wahrhaft populärer Weise populär und allgemein verständlich zu machen, ohne den strengen wissenschaftlichen Anforderungen etwas zu vergeben. Die äußere Ausstattung ist eine solche, die die Bestrebungen des Verfassers unterstützt; 1232 vortrefflich ausgeführte Holzschnitte sind dem Texte eingedruckt und vermehren die Deutlichkeit und Verständlichkeit desselben. — Der Subscriptionspreis ist für diese Ausstattung ein überaus billiger.

Supplemente
zur
Ersten Auflage von Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie.

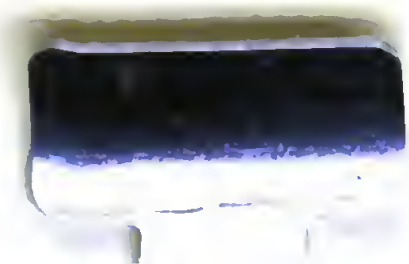
Von Dr. **Joh. Müller**, Professor der Physik und Technologie an der [illegible] zu Freiburg im Breisgau. Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzschnitten. gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 1 Thlr.

Supplemente
zur
Zweiten Auflage von Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie.

Von Dr. **Joh. Müller**, Professor der Physik und Technologie an der [illegible] zu Freiburg im Breisgau. Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzschnitten. gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 12 Sgr.

Von vielen Besitzern der weit verbreiteten ersten und zweiten Auflage des Müller-Pouillet'schen Lehrbuches der Physik ist uns der Wunsch ausgesprochen, Supplementhefte für die beiden ersten Auflagen zu veranstalten, welche dieselben ins wissenschaftliche Gleichgewicht mit der dritten Auflage setzen würden.

Diese Wünsche hat Herr Professor Müller erfüllt: es ist demnach ein Supplementheft zur ersten Auflage und ein solches zur zweiten Auflage des Werkes erschienen, wodurch beide Auflagen der dritten an die Seite gestellt werden.



Digitized by Google

Digitized by Google